Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

L'ANHYDRIDE SULFUREUX

Canada

juin 1985

86-05884/

COLLECTION «ENVIROGUIDE»

La collection «Enviroguide» est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

L'ANHYDRIDE SULFUREUX

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
JUIN 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1986
N° de cat. En 48-10/48-1985F
ISBN 0-662-93713-9
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection "Enviroguide" a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VIII
	Abréviations et symboles	IX
	Définitions	XI
	Sigles	XIII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	4
3	**Production, transport et commerce**	11
3.1	Qualités et titres	11
3.2	Fabricants situés au Canada	11
3.3	Autres fournisseurs	11
3.4	Centres de production et transport	11
3.5	Volume de production	11
3.6	Fabrication industrielle	12
3.6.1	Information générale	12
3.6.2	Procédé de fabrication	12
3.7	Principales utilisations au Canada	12
3.8	Principaux acheteurs au Canada	12
4	**Manutention du produit et compatibilité des matériaux**	14
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	14
4.1.1	Transport en vrac	14
4.1.1.1	Wagons-citernes	14
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	16
4.1.1.3	Citernes portables	16
4.1.2	Bouteilles	17
4.2	Déchargement	18
4.2.1	Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes	18
4.2.2	Déchargement des bouteilles	18
4.2.3	Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement	19
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	22
5	**Fuite et migration du produit**	25
5.1	Aperçu général	25
5.2	Fuite du produit	25
5.2.1	Introduction	25
5.2.2	Nomogrammes des fuites	26
5.2.2.1	Perforation dans le bas: fuite de liquide	26
5.2.2.2	Perforation dans le haut: fuite de gaz	27
5.2.3	Exemples de calcul	27
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	30
5.3.1	Introduction	30
5.3.2	Nomogrammes de la diffusion de la bouffée de vapeurs	30
5.3.2.1	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	31

5.3.2.2	Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse	35
5.3.2.3	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	37
5.3.3	Exemple de calcul	37
5.4	Comportement dans l'eau	40
5.4.1	Introduction	40
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	42
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	42
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	46
5.4.3	Exemples de calcul	46
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	46
5.4.3.2	Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	53
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	53
5.5.1	Introduction	53
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	54
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	54
5.5.4	Types de sol	56
5.5.5	Nomogramme de la migration	56
5.5.6	Exemple de calcul	59
6	**Protection de l'environnement**	60
6.1	Limites maximales admissibles	60
6.1.1	Qualité de l'eau	60
6.1.2	Qualité de l'air	60
6.1.2.1	Situation au Canada	60
6.1.2.2	Situation aux USA	61
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	61
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux USA	61
6.2.2	Mesures de la toxicité	61
6.2.3	Études sur le milieu aquatique	61
6.3	Toxicité pour les mammifères	62
6.4	Pollution des sols	62
6.5	Toxicité pour les végétaux	62
6.5.1	Mesures de l'action nocive	63
6.5.2	Sensibilité relative des arbres	68
6.5.3	Études sur les végétaux	69
6.6	Études sur les effets toxiques	69
6.7	Devenir et effets à long terme	69
7	**Protection de la santé**	71
7.1	Normes de qualité d'air ambiant	71
7.2	Données sur l'action irritante	73
7.2.1	Contact avec la peau	73
7.2.2	Contact avec les yeux	73
7.2.3	Irritation de l'appareil respiratoire	74
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	74
7.3.1	Odeur	74
7.3.2	Saveur	74
7.4	Études sur les effets toxiques	74
7.4.1	Inhalation	74
7.4.2	Ingestion	77
7.4.3	Exposition de la peau (effets généraux)	77
7.4.4	Carcinogénicité	77
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	78
7.5.1	Inhalation	78

7.5.2	Ingestion	78
7.5.3	Contact avec les yeux	79
7.5.4	Contact avec la peau	79
7.6	Toxicité pour l'homme des produits de décomposition ou de combustion	79
7.6.1	Acide sulfureux	79
8	**Compatibilité**	80
8.1	Compatibilité entre l'anhydride sulfureux et divers agents	80
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	82
9.1	Mesures recommandées	82
9.1.1	Danger d'incendie	82
9.1.2	Moyens d'extinction	82
9.1.3	Évaluation de la zone dangereuse	82
9.1.4	Mesures d'intervention en cas de déversement	83
9.1.4.1	Information générale	83
9.1.4.2	Déversement sur le sol ou dans l'eau	83
9.1.5	Élimination du polluant	83
9.1.6	Appareils et vêtements de protection	83
9.1.7	Entreposage	85
10	**Cas de déversements accidentels**	86
10.1	Information générale	86
10.2	Fuite d'un réservoir de stockage	86
10.3	Anhydride sulfureux provenant de la combustion de soufre	86
11	**Identification et dosage du polluant**	88
11.1	Dosage du soufre présent dans l'air	88
11.1.1	Titrage	88
11.2	Identification de l'anhydride sulfureux présent dans l'air	88
11.3	Dosage de l'anhydride sulfureux présent dans l'eau	89
11.3.1	Titrage électrométrique	89
11.4	Identification de l'anhydride sulfureux présent dans l'eau	89
11.5	Dosage de l'anhydride sulfureux présent dans le sol	90
11.5.1	Chromatographie par échange d'ions	90
11.6	Identification de l'anhydride sulfureux présent dans le sol	90
12	**Références et bibliographie**	91
12.1	Références	91
12.2	Bibliographie	98

LISTE DES FIGURES

1	Tension de vapeur en fonction de la température	7
2	Masse volumique du liquide en fonction de la température	8
3	Masse volumique du gaz	8
4	Viscosité de la vapeur en fonction de la température	9
5	Viscosité du liquide en fonction de la température	9
6	Solubilité dans l'eau en fonction de la température	10
7	Diagramme de phases	10
8	Wagon-citerne de spécification 105A300W	15
9	Bouteilles à gaz	21
10	Orifice au-dessus ou au-dessous du niveau de liquide	26
11	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	28
12	Débit de fuite en fonction du diamètre de l'orifice	28
13	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	29
14	Débit de fuite en fonction du diamètre de l'orifice	29
15	Formation d'une bouffée de vapeurs	32
16	Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse	33
17	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	34
18	Conversion des unités de la TLV• (ppm en g/m^3)	39
19	Distance parcourue par la bouffée en fonction du temps écoulé	39
20	Zone dangereuse maximale sous un vent invariable	41
21	Zone dangereuse maximale sous un vent variable	41
22	Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	43
23	Distance en fonction du temps	44
24	Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal	45
25	Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique	47
26	Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente	48
27	Delta en fonction d'alpha	49
28	Teneur maximale en fonction de delta	50
29	Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique	51
30	Teneur moyenne en fonction du volume d'eau	52
31	Migration dans le sous-sol	55
32	Plan d'utilisation des nomogrammes	57
33	Migration dans un sable grossier	58

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de conversion	6
2	Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour l'anhydride sulfureux	14
3	Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 105A300W	17
4	Caractéristiques de la citerne portable de spécification TC51/CCT51	18
5	Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux bouteilles à gaz utilisées pour l'anhydride sulfureux	20
6	Compatibilité entre l'anhydride sulfureux et certains matériaux de fabrication	22
7	Abréviations normalisées des noms de matériaux de fabrication	24
8	Catégories météorologiques (de stabilité)	31
9	Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse de vapeurs d'anhydride sulfureux	37

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.*	Dose létale minimale
DL 50*	Dose létale moyenne
DT min.	Dose toxique minimale
et coll.	Et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
l	Litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible - courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
Pa . s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL*	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL*	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50*	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50*	Teneur inhibitrice moyenne
TLm*	Tolérance moyenne
TL min.*	Teneur létale minimale

TL 50*	Teneur létale moyenne
TLV®*	*Threshold Limit Value*
TLV® -C*	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.*	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
W	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

---

* Voir la section Définitions.

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection "Enviroguide". Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. - Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. - Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. - Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. - Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. - Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. - La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. - Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* - Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. - Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un "récepteur" qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. - En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. - Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. - Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV - *Short Term Exposure Limit).* - Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. - Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. - Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV® -C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. - La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). - Rapport de la masse d'une substance dissoute

à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV• *(Threshold Limit Value).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV• -C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* - Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. - Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CAS	Chemical Abstracts Service Registry System
CBG	Chemical Buyer's Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Anhydride sulfureux (SO_2)

L'anhydride sulfureux (ou dioxyde de soufre) est un gaz incolore qui dégage une odeur âcre et irritante.

Synonymes

Dioxyde de soufre, acide sulfureux, oxyde sulfureux, gaz sulfureux, bioxyde de soufre.

Numéros d'identification

UN 1079; CAS 7446-09-5, 7782-99-2; OHM-TADS 7216914; STCC 4904290.

Qualités et teneurs

Commerciale: 99,90 p. 100

Réfrigération: 99,98 p. 100

Dangers immédiats

Incendie. - L'anhydride sulfureux n'est pas combustible.

Effet sur l'homme. - Très toxique en cas d'inhalation.

Effets sur l'environnement. - Nocif pour la vie aquatique à très faible teneur; toxique pour les animaux, les végétaux et la faune du sol (micro-organismes telluriques).

Données relatives aux propriétés physiques

État à l'expédition	Liquide (gaz liquifié)
État (15 °C, 1 atm)	Gaz
Point d'ébullition	-10,0 °C
Point de fusion	-72,7 °C
Inflammabilité	Non combustible
Tension de vapeur	338 kPa (21 °C)
Masse volumique	1,379 g/ml (21 °C) (SO_2 liquide)
Solubilité (dans l'eau)	22,8 g/100 ml (à 0 °C)
Comportement (dans l'eau)	S'enfonce, bout et se dissout pour produire de l'acide sulfureux.
Comportement (dans l'air)	Gaz plus lourd que l'air
Plage du seuil olfactif	0,1 à 3 ppm

Dangers pour l'environnement

L'anhydride sulfureux est toxique pour la vie aquatique à faible teneur, généralement en

dessous de 10 mg/l. À des teneurs supérieures à 1 ppm, il est nocif pour les végétaux.

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible (TLV•) établie par l'ACGIH: 2 ppm (5 mg/m^3).

Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) établie par le NIOSH: 100 ppm.

Effets en cas d'inhalation. - Le gaz a un effet si irritant qu'il est improbable qu'une personne reste exposée à une teneur dangereuse à moins qu'elle ait perdu connaissance ou qu'elle ne puisse se dégager.

Effets en cas de contact. - Tout contact avec le produit liquifié provoque des gelures et des brûlures graves à la peau et aux yeux. Un contact prolongé peut entraîner la cécité.

Dispositions immédiates à prendre

• En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler: "PRODUIT TOXIQUE". L'équipe d'intervention doit porter un équipement complet de protection. Arrêter la fuite si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec le liquide et les vapeurs qu'il dégage; se tenir face au vent, la nappe derrière soi. Empêcher les eaux polluées d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

• En cas d'incendie

Utiliser de la mousse, des poudres sèches, de la neige carbonique ou de l'eau pulvérisée pour éteindre le feu. Refroidir avec de l'eau les récipients exposés aux flammes. Ne pas laisser pénétrer d'eau dans les récipients. Se tenir éloigné des têtes des citernes. À la chaleur de l'incendie, les récipients risquent d'éclater, ce qui entraînerait le dégagement de vapeurs toxiques.

Mesures d'intervention d'urgence

• Anhydride sulfureux répandu sur le sol

Construire des barrages pour confiner le liquide déversé. Neutraliser le sol pollué avec de la chaux, du bicarbonate de sodium ou du carbonate de sodium anhydre.

• Anhydride sulfureux déversé dans l'eau

Confiner la nappe au moyen de barrages ou d'ouvrages de dérivation.

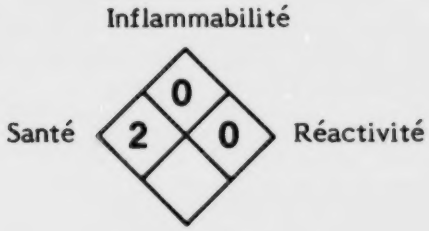
• Anhydride sulfureux émis dans l'atmosphère

Utiliser un jet d'eau pulvérisée pour absorber et abattre les vapeurs. Confiner l'eau de ruissellement en vue de l'épurer ou de l'éliminer ultérieurement.

Niveau de gravité du risque selon la NAS

Incendie	0
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	4
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	1
Intoxication	4
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	0
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	1
Réactivité	
Autres produits chimiques	1
Eau	1
Réaction spontanée	0

Évaluation du risque selon la NFPA



Champ inférieur vide: utiliser l'eau comme moyen d'extinction

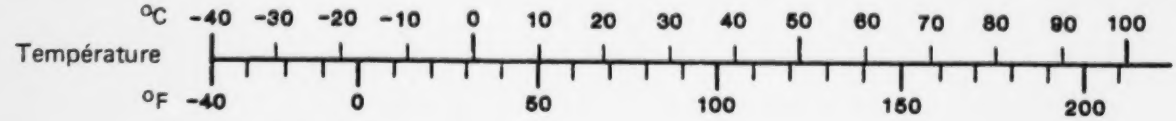
2 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Aspect	Gaz incolore. Liquide incolore à basse température (-10 °C) ou à pression moyenne (HCG, 1981)
État à l'expédition	Expédié à l'état de gaz comprimé liquifié à sa propre tension de vapeur (HCG, 1981)
État d'agrégation (15 °C, 1 atm)	Gaz
Variables d'état	
Point de fusion	-72,7 °C (CRC, 1980), -75,8 °C (Matheson, 1980)
Point d'ébullition	-10,0 °C (HCG, 1981)
Tension de vapeur	338 kPa (à 21 °C) (HCG, 1981)
Masse volumique et densité	
Masse volumique du liquide	1,50 g/cm^3 (à -20 °C) (Kirk-Othmer, 1983), 1,379 g/cm^3 (à 21 °C) (HCG, 1981)
Densité relative du liquide	1,434 (à 0 °C) (HCG, 1981)
Densité relative des vapeurs (air = 1)	2,263 (à 0 °C) (Kirk-Othmer, 1983), 2,262 (à 21 °C) (HCG, 1981)
Propriétés relatives à la combustion	
Inflammabilité	Ni combustible ni inflammable (NFPA, 1978)
Solubilité	
Eau	22,8 g/100 ml (à 0 °C) (CRC, 1980) 11,3 g/100 ml (à 20 °C) (Matheson, 1980) 0,58 g/100 ml (à 90 °C) (CRC, 1980)
Autres corps communs	Soluble dans l'éthanol, l'acide acétique et l'acide sulfurique (CRC, 1980) Modérément soluble dans le méthanol, le benzène, l'acétone et le tétrachlorure de carbone (Ullmann, 1975)
Autres propriétés	
Masse moléculaire du corps pur	64,06 (CRC, 1980)
Composition caractéristique de la solution commerciale	Qualité technique ou commerciale: > 99,98 p. 100 de SO_2, < 100 ppm de H_2O; Réfrigération: > 99,98 p. 100 de SO_2, < 50 ppm de H_2O (Kirk-Othmer, 1983)
Volume molaire	21,9 l/mol (Ullmann, 1985)
Viscosité	Gaz: 0,0124 mPa . s (à 18 °C) (CRC, 1980)

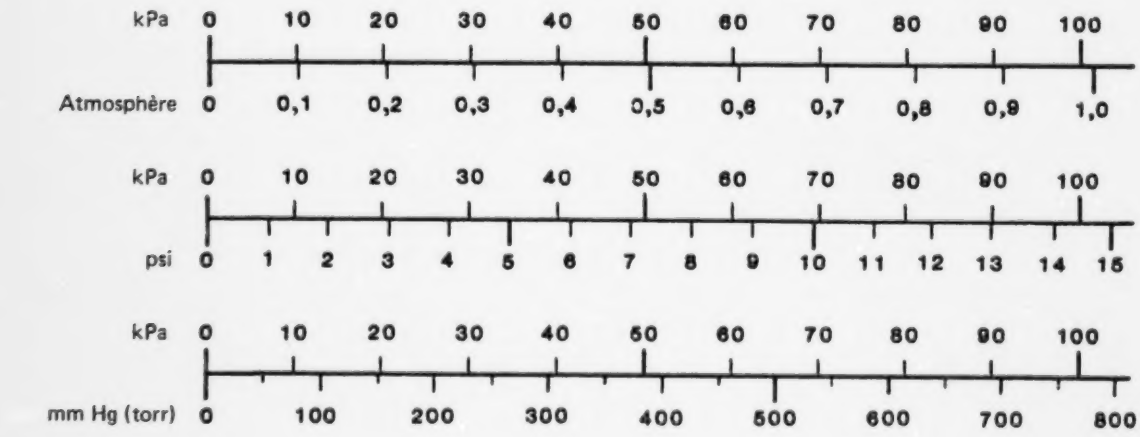
	Liquide: 0,368 mPa . s (à 0 °C) (Ullmann, 1975)
Chaleur latente de fusion	7,4 kJ/mol (à -75,5 °C) (HCG, 1981)
Chaleur latente de sublimation	30,6 kJ/mol (valeur estimée)
Chaleur latente de vaporisation	24,92 kJ/mol (à -10 °C) (Kirk-Othmer, 1983)
Chaleur de formation	-296,8 kJ/mol (à 25 °C) (JANAF, 1971)
Entropie	248,1 J/(mol . °C) (à 25 °C) (Kirk-Othmer, 1983)
Potentiel d'ionisation	12,33 eV (Rosenstock, 1977)
Chaleur de dissolution	-14,0 kJ/mol (CHRIS, 1978)
Capacité thermique molaire à pression constante à volume constant	 39,8 J/(mol . °C) (à 25 °C) (HCG, 1981) 31,1 J/(mol . °C) (à 25 °C) (HCG, 1981) 30,932 J/(mol . °C) (à 25 °C) (Matheson, 1980)
Rapport de chaleurs spécifiques (P constante/vol. constant)	1,29 (Matheson, 1980)
Pression critique	7870,4 kPa (HCG, 1981), 7911 kPa (Kirk-Othmer, 1983)
Température critique	157,6 °C (Ullmann, 1975; Kirk-Othmer, 1983)
Coefficient de dilatation thermique	384 x 10^{-3}/°C (Perry, 1973)
Conductibilité thermique	0,2214 W/(mol . K) (liquide à -25 °C), 0,0088 W/(mol . K) (gaz à 15 °C) (Matheson, 1980)
Teneur de saturation	8840 g/m^3 (à 21 °C) (valeur calculée)
Coefficient de diffusion	1,7 x 10^{-5} cm^2 . s (dans l'eau, à 25 °C) (Perry, 1973)
Tension superficielle	28,59 mN/m (liquide à -10 °C) (Matheson, 1980)
pH de la solution aqueuse	Produit une solution aqueuse légèrement acide lorsqu'il est combiné avec de l'eau dans l'atmosphère ou sur terre.
Indice de réfraction	1,0006 (gaz à 25 °C) (Matheson, 1980)
Constante diélectrique	1,0093 (gaz à 20 °C), 14,1 (liquide à 20 °C) (Matheson, 1980)
Moment dipolaire	1,16 D (à 25 °C) (Bailar, 1973)
Facteur de conversion pour les vapeurs	1 ppm = 2,660 mg/m^3 (à 20 °C) (Verschueren, 1984)

Tableau 1

ANHYDRIDE SULFUREUX — **NOMOGRAMMES DE CONVERSION**



Pression — 1 kPa = 1000 Pa



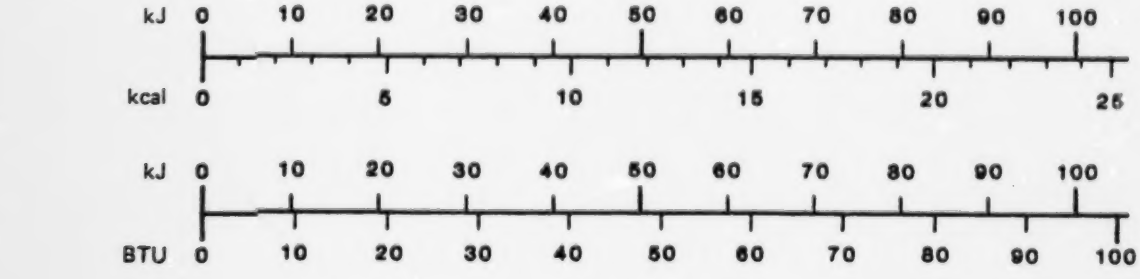
Viscosité

Dynamique — 1 Pa·s = 1000 centipoises (cPo)

Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)
1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1 000 J



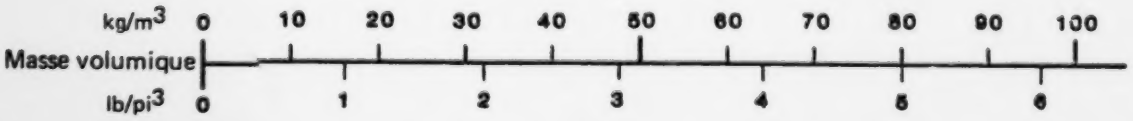


Figure 1

ANHYDRIDE SULFUREUX

TENSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chem. Eng., 1974

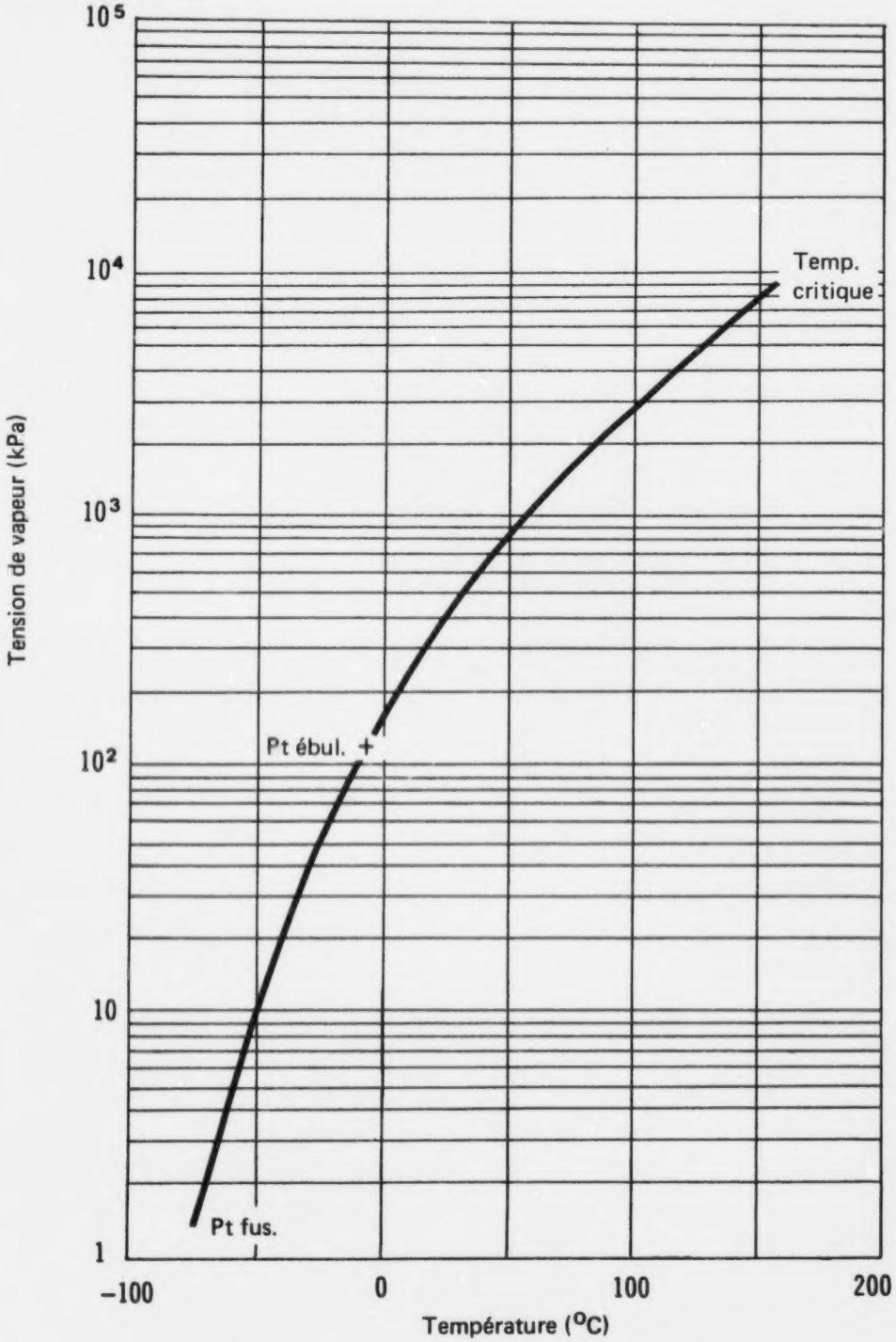


Figure 2

ANHYDRIDE SULFUREUX

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chem. Eng., 1974

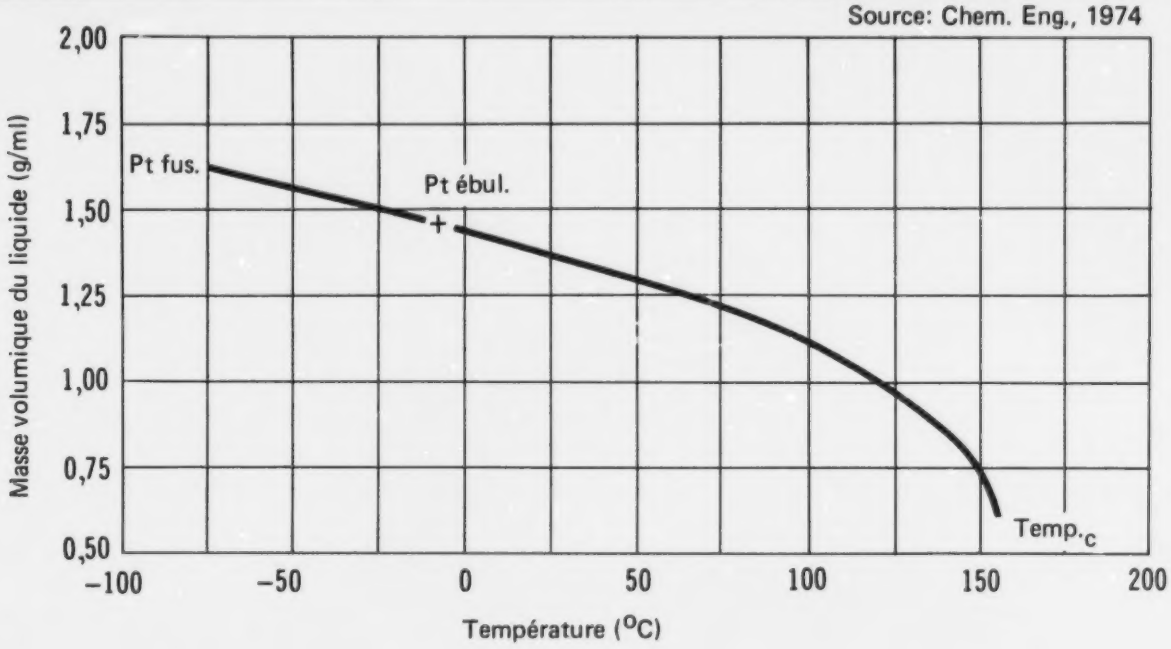


Figure 3

ANHYDRIDE SULFUREUX

MASSE VOLUMIQUE DU GAZ

Source: Matheson, 1980

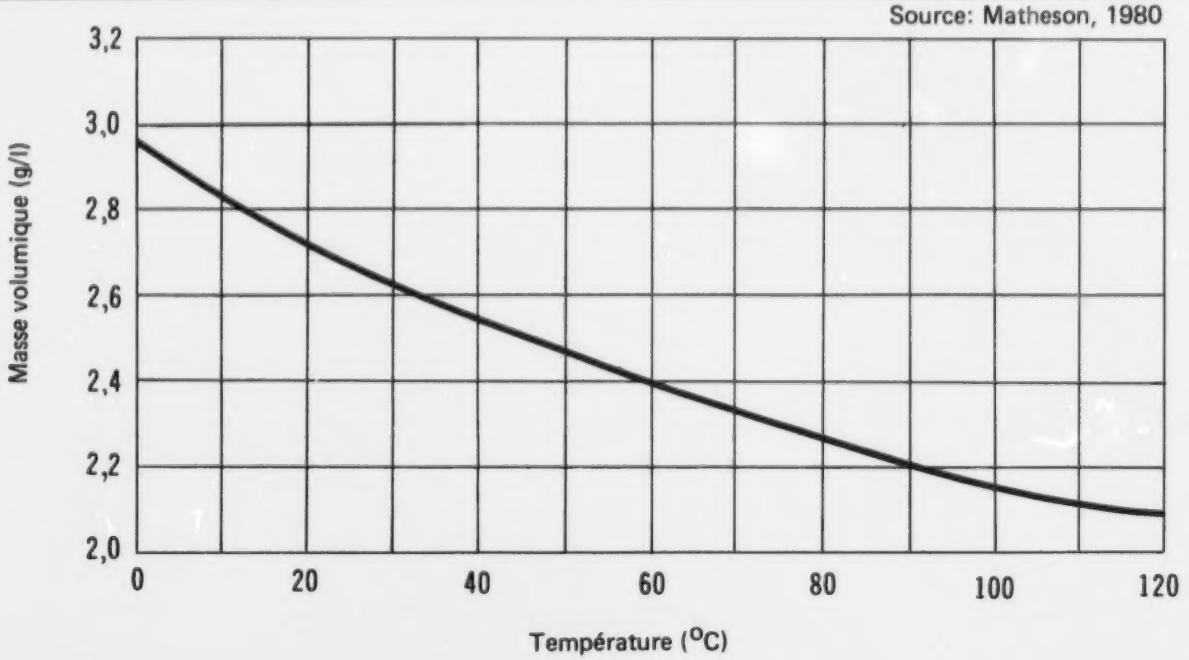


Figure 4

ANHYDRIDE SULFUREUX

VISCOSITÉ DE LA VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chem. Eng., 1974

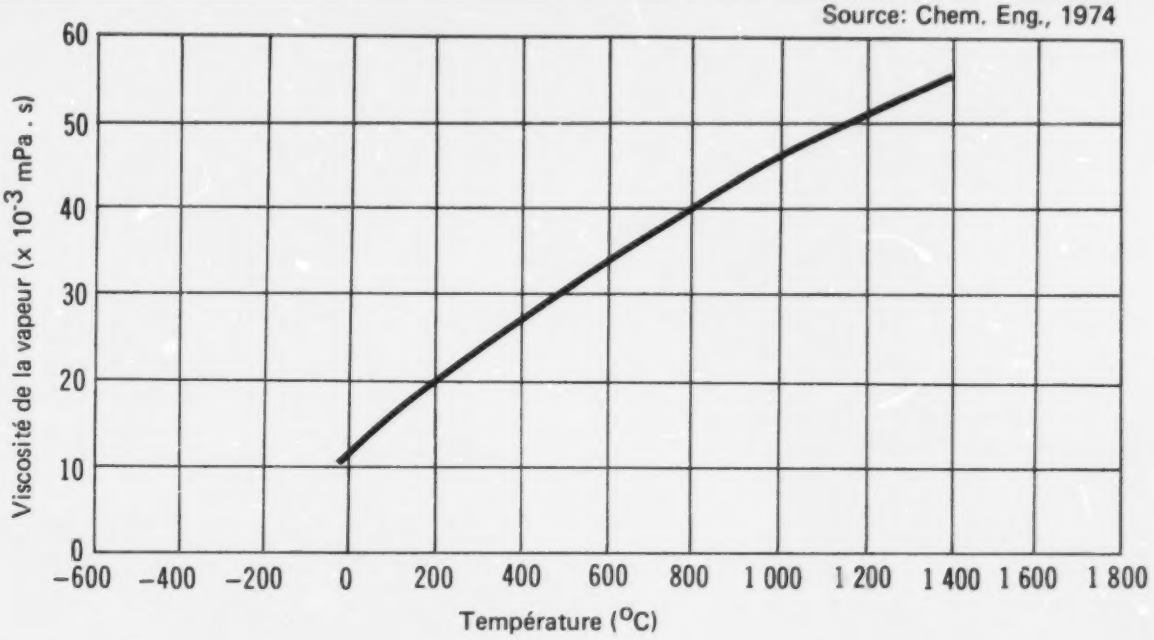


Figure 5

ANHYDRIDE SULFUREUX

VISCOSITÉ DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Chem. Eng., 1974

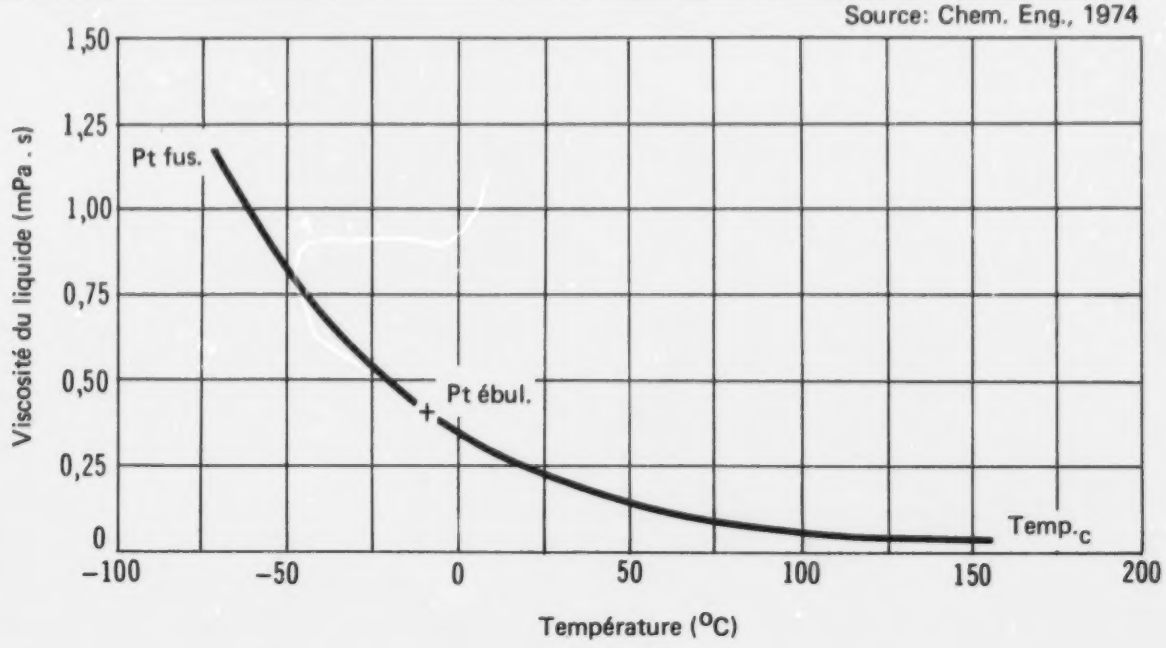


Figure 6

ANHYDRIDE SULFUREUX

SOLUBILITÉ DANS L'EAU EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Seidell et Linke, 1965

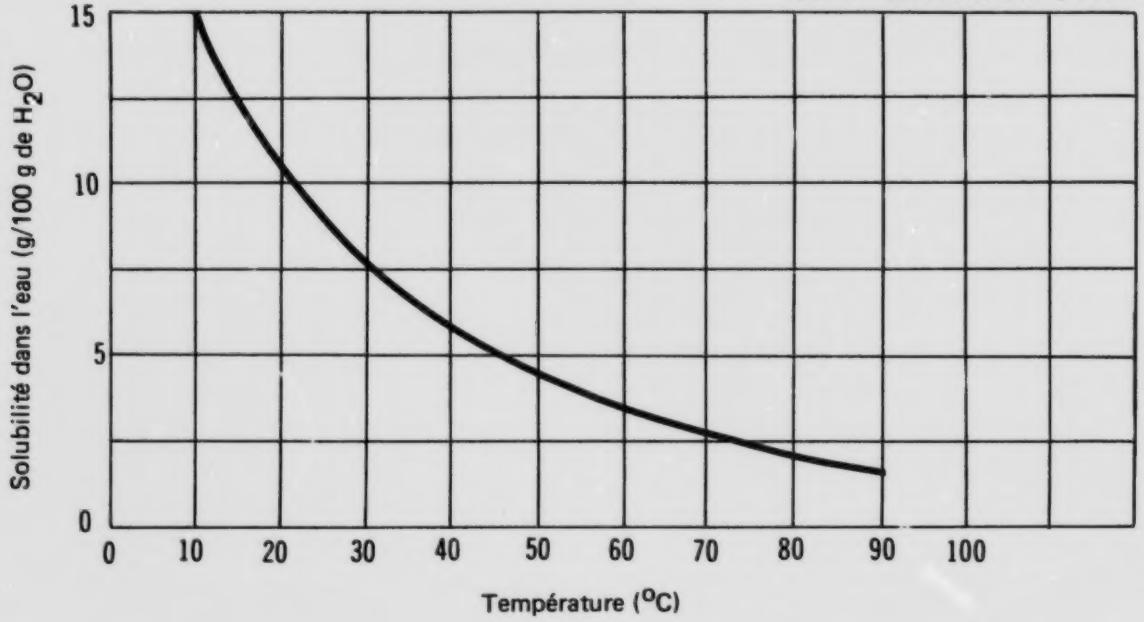
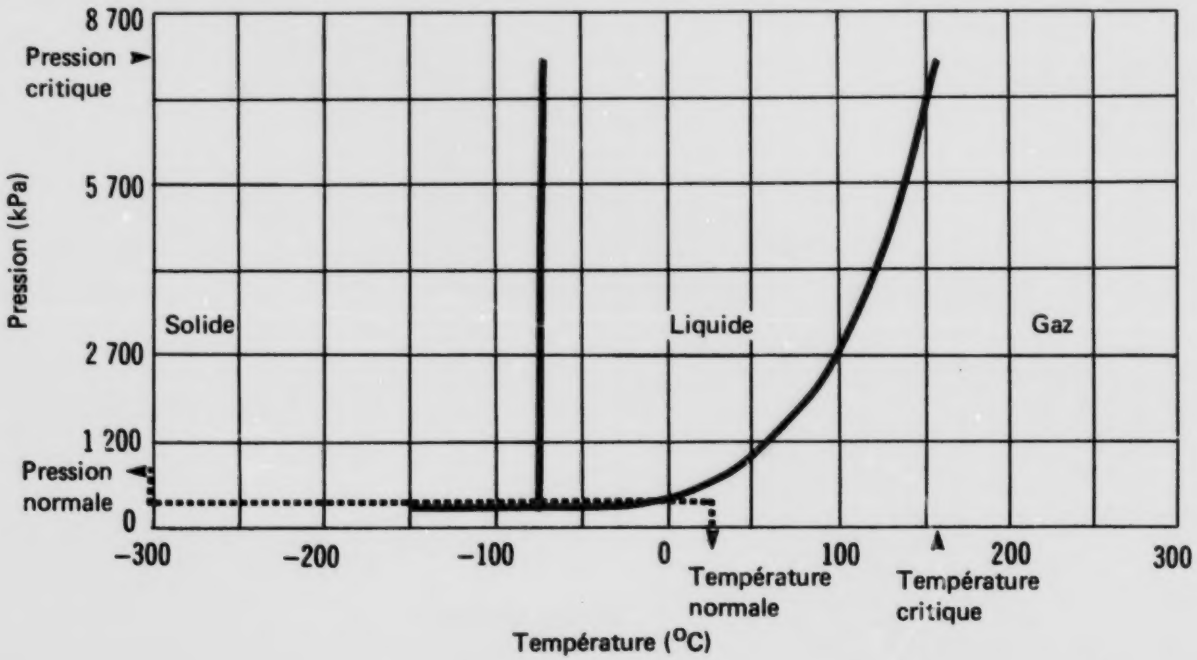


Figure 7

ANHYDRIDE SULFUREUX

DIAGRAMME DE PHASES



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres (HCG, 1981; Kirk-Othmer, 1983)

On trouve dans le commerce deux qualités d'anhydride sulfureux: l'une contenant plus de 99,98 p. 100 de SO_2 et moins de 100 ppm de H_2O (qualité technique ou commerciale), et l'autre contenant plus de 99,98 p. 100 de SO_2 et moins de 50 ppm de H_2O (qualité réfrigérant); on trouve aussi de l'anhydride sulfureux sous forme de produit dérivé de la combustion du soufre ou de produits contenant du soufre.

3.2 Fabricants situés au Canada (Corpus, 1984; CCPA, 1981)

Les renseignements ci-dessous concernent des sièges sociaux; ils ne sont pas fournis pour obtenir une intervention en cas d'accident.

Cominco, 200 Granville Street, Vancouver (Colombie-Britannique), V6C 2R2, (604) 682-0611
Inco Metals, Inco Ltd., 1 First Canadian Place, C.P. 44, Toronto (Ontario), M5X 1C4, (416) 361-7511

3.3 Autres fournisseurs (CBG, 1980; Corpus, 1984; CCPA, 1984)

Air Liquide Canada Ltée, 1155, rue Sherbrooke Ouest, Montréal (Québec), H3A 1H8, (514) 842-5431
C-I-L Inc., 90 Sheppard Avenue East, C.P. 200, Station "A", North York (Ontario), M2N 6H2, (416) 229-7000
Matheson of Canada Ltd., C.P. 89 Whitby (Ontario), L1N 5R9, (416) 668-3397
Van Waters & Rogers Ltd., 9800 Van Horne Way, Richmond (Colombie-Britannique), V6X 1W5, (605) 273-1441

3.4 Centres de production et transport

Le gros de la production canadienne d'anhydride sulfureux provient de Copper Cliff (Ontario) et de Trail (Colombie-Britannique). Le produit est acheminé par wagons-citernes, camions-citernes ou en bouteilles.

3.5 Volume de production (Corpus, 1984)

Capacité nominale de production et total des approvisionnements

Société	Emplacement de l'usine	Capacité nominale (kt/an, 1983)
Inco Metals	Copper Cliff (Ont.)	110
Cominco	Trail (C.-B.)	55
Total		165
Production nationale (1983)		93,5
Importations (1982)		6,1
Total des approvisionnements		99,6

3.6 **Fabrication industrielle** (FKC, 1975; CCPA, 1984)

3.6.1 Information générale. - Au Canada, l'anhydride sulfureux est un produit secondaire du grillage éclair des minerais sulfurés.

3.6.2 Procédé de fabrication. - Le gaz du four, qui contient de 75 à 80 p. 100 d'anhydride sulfureux, passe dans un système épurateur et dans une tour où il est séché avec de l'acide sulfurique fort (98 p. 100). À la sortie de cette tour, le gaz est soumis à une série d'opérations de liquéfaction comprenant une compression, un refroidissement, une filtration (pour éliminer les huiles) et la séparation de l'anhydride sulfureux liquide de la phase gazeuse. On stocke l'anhydride sulfureux liquide résultant du premier processus de liquéfaction, on comprime la phase gazeuse, et l'on répète les opérations de refroidissement, filtration et séparation. L'effluent gazeux résultant du cycle final de compression/réfrigération est éliminé avec d'autres gaz résiduels.

L'anhydride sulfureux liquide peut être stocké à une pression comprise entre 3 et 10 atmosphères, ou à pression atmosphérique à -10 °C, avec réfrigération pour condenser le gaz qui s'évapore.

3.7 **Principales utilisations au Canada** (Corpus, 1984)

L'anhydride sulfureux est utilisé comme agent de blanchiment des pâtes, dans la fabrication des pâtes au sulfite, dans l'exploitation minière et le raffinage des métaux, dans l'épuration des eaux et le traitement des aliments. Il peut aussi être utilisé dans la production d'acide sulfurique, de sulfate et sulfite de sodium. En 1983, 45 p. 100 de la production canadienne étaient utilisés pour le blanchiment des pâtes, 27 p. 100 étaient exportés, 11 p. 100 étaient utilisés pour le blanchiment au sulfite et 10 p. 100 pour le raffinage des métaux.

3.8 **Principaux acheteurs au Canada** (Corpus, 1984)

Abitibi-Price, Kénogami (QC)
Boise Cascade, Fort Frances (Ont.)
New Castle (N.-B.)
BC Forest Products, Crofton (C.-B.)
BC Timber, Castelgar, Skeena (C.-B.)
Brunswick Mining & Smelting,
Belledune (N.-B.)
Canadian Cellulose, Castelgar (N.-B.)
Canadian Copper Refiners, Montréal (QC)
Canadian Forest Products, Port Mellon (QC)
Canadian International Paper, La Tuque (QC)
Cariboo Pulp & Paper, Quesnel (C.-B.)
Consolidated Bathurst, Bathurst (N.-B.)
Consolidated Bathurst, Portage du Fort (QC)
Crestbrook Forest, Skookumchuk (C.-B.)
Domtar, Cornwall, Trenton (Ont.);
Dolbeau (QC)
Donohue St-Félicien, St-Félicien (QC)
Eddy Forest Products, Espanola (Ont.)
Great Lakes Forest, Dryden (Ont.)
Intercontinental Pulp, Prince George (C.-B.)
James River Marathon, Marathon (Ont.)
Kidd Creek Mines, Timmins (Ont.)
MacMillan Bloedel, Powell R., Alberni (C.-B.)
Ontario Paper, Thorold (Ont.)
New Brunswick International Paper,
Dalhousie (N.-B.)
Prince Albert Pulp, Prince Albert (Sask.)
Noranda Mines, Manitouwadge (Ont.)
Nova Scotia Forest Industries,
Port Hawkesbury (N.-É.)
St. Anne-Nackawic Pulp and Paper,
Nackawic (N.-B.)
Scott Maritimes, New Glasgow (N.-É.)

Spruce Falls Power, Kapuskasing (Ont.)
Tembec Forest Products, Témiscamingue (QC)
Thurso Pulp & Paper, Thurso (QC)
Van Waters & Rogers, Vancouver (C.-B.)
Western Forest Products,
Port Alice Woodfibre (C.-B.)
Weyerhaeuser Canada, Kamloops (C.-B.)

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ DES MATÉRIAUX

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

4.1.1 Transport en vrac. - L'anhydride sulfureux est transporté à l'état de liquide sous pression dans des wagons-citernes, des camions-citernes, des citernes portables (amovibles) et des cylindres d'une tonne.

4.1.1.1 Wagons-citernes. - Le tableau 2 donne la liste des wagons-citernes utilisés pour le transport de l'anhydride sulfureux (TCM, 1979; RTDCR, 1974).

Tableau 2
Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour l'anhydride sulfureux

Numéro	Description
105A200W	Citerne en acier soudée par fusion, avec trou d'homme. Isolée. Soupape de sûreté (1034 kPa, 200 psi). Organe de vidange par le haut exigé. Orifices de vidange ou de purge par le bas interdits.
105A300W	Comme 105A200W ci-dessus, sauf que la soupape de sûreté est réglée à 2070 kPa (300 psi).
105A500W	Comme 105A200W ci-dessus, sauf que la soupape de sûreté est réglée à 3450 kPa (500 psi).
106A500X	Wagon porteur d'une batterie de citernes-cylindres d'une tonne en acier, amovibles, non isolées et montées sur un châssis. Les citernes-cylindres ont leurs soudures longitudinales soudées par fusion et leurs joints d'extrémités soudées à la forge. Chaque citerne-cylindre est équipée d'un robinet de chargement et de vidange, d'une soupape de sûreté ou d'un évent réglé pour une pression ne dépassant pas 2588 kPa (375 psi). Nom courant: "cylindre d'une tonne".
110A500W	Identique à 106A500X, sauf que les citernes-cylindres sont entièrement soudées par fusion.

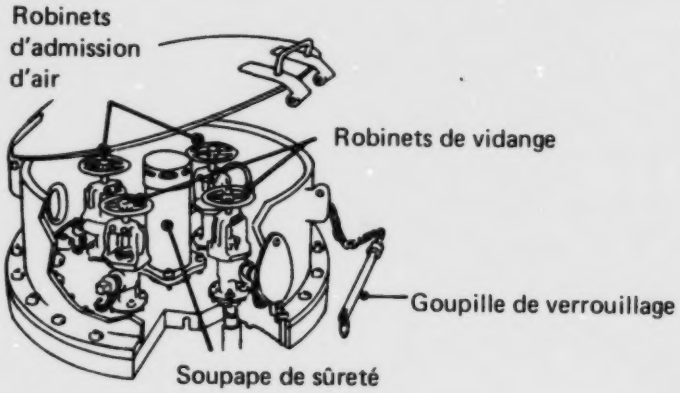
L'anhydride sulfureux liquide est transporté généralement dans des wagons-citernes de spécification 105A300W comme celui qui est illustré à la figure 8, et dont le tableau 3 donne une description détaillée. Sur les citernes contenant de l'anhydride sulfureux, les organes de déchargement (vidange) par le bas sont interdits. Les citernes sont déchargées par le haut en utilisant un compresseur d'air ou un procédé de remplissage à l'air sec (MCA, 1953).

La seule ouverture permise dans la citerne est un trou d'homme situé sur le dessus, au centre. La citerne est équipée de deux orifices de chargement et deux orifices de décharge-

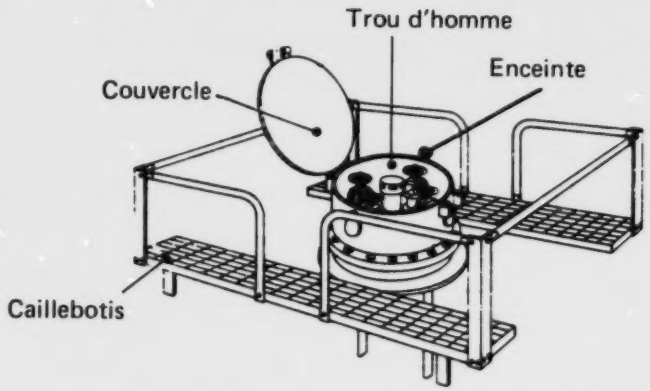
Figure 8

ANHYDRIDE SULFUREUX — **WAGON-CITERNE DE SPÉCIFICATION 105A300W**

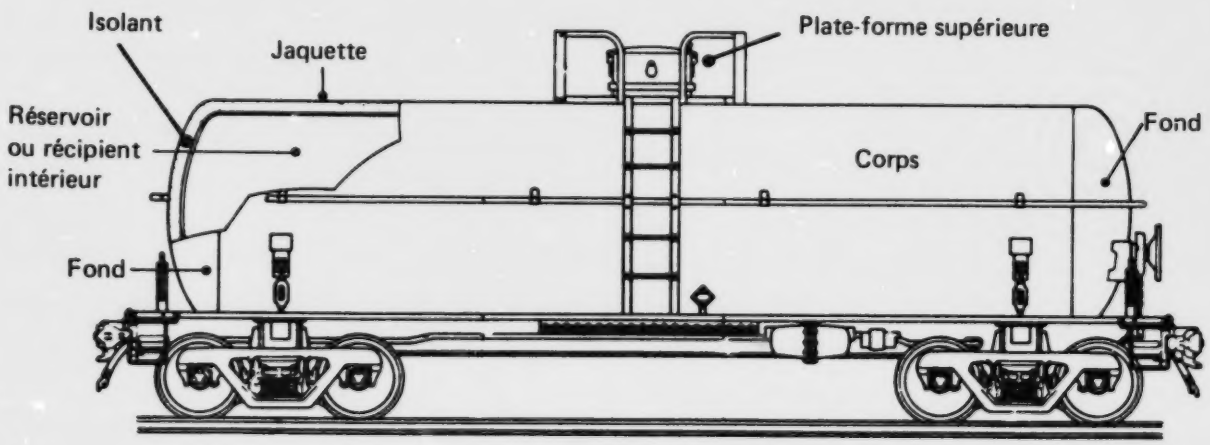
Sources: RTDCR, 1974; TCM, 1979



Détail de l'organe de vidange



Détail de la plate-forme supérieure



Principaux éléments du wagon-citerne

ment du liquide et d'un ou deux orifice(s) de sortie de la phase gazeuse, soit de 25 mm (1 po), soit de 51 mm (2 po) (MCA, 1953, CCPA, 1984). Sous chaque orifice de déchargement du liquide se trouve un tube plongeur de 32 mm (1 1/4 po), fixé au couvercle du trou d'homme et descendant jusque dans la partie inférieure de la citerne. Au sommet de chaque tube plongeur, juste sous le couvercle du trou d'homme, se trouve un limiteur de débit à bille, de 32 mm (1 1/4 po), conçu pour fonctionner lorsque le débit du liquide excède 5400 kg/h (12 000 lb/h) environ pour le raccord de 25 mm (1 po) et 1300 kg/h (28 600 lb/h) pour le raccord de 51 mm (2 po) (CCPA, 1984). Cette soupape est un dispositif de protection conçu pour arrêter automatiquement l'écoulement du liquide en cas de brisure du robinet d'équerre. La soupape de sûreté est une soupape à ressort, combinée en général avec une plaque d'éclatement.

On utilise aussi les wagons porte-cylindres mentionnés au tableau 2. Ils peuvent transporter jusqu'à 15 cylindres d'une tonne. Les extrémités de ces citernes-cylindres comportent des bouchons fusibles qui fondent à 74 °C. Après avoir été enlevés du wagon, les cylindres sont vidés, à l'horizontale, les deux robinets de déchargement (vidange) étant situé l'un au-dessus de l'autre de sorte qu'un des tubes de déchargement plonge dans la phase liquide et l'autre, dans la phase gazeuse (MCA, 1953).

4.1.1.2 Véhicules-citernes routiers. - L'anhydride sulfureux est transporté dans des véhicules-citernes de diverses capacités (HCG, 1981). Comme les wagons-citernes, ils sont vidangés par le haut, le tube plongeur étant situé à l'arrière de la citerne. La vidange se fait avec de l'air sec. Le dispositif d'admission d'air est constitué d'un raccord de branchement à filetage mâle de 25 mm (1 po) de diamètre, situé au sommet de la remorque.

Les véhicules-citernes qui transportent de l'anhydride sulfureux sont semblables aux wagons-citernes utilisés pour les mêmes fins. Ce transport est autorisé dans la mesure où les engins sont conformes à la spécification TC331 de Transports Canada, qui exige un réservoir en acier, avec ou sans soudures, isolé, de pression minimale de calcul égale à 1034 kPa (200 psi), de conception et de construction conformes au code de l'ASME (HCG, 1981). Pour les réservoirs ayant un cubage supérieur à 4,5 m^3 (capacité en eau de 1200 gal), la pression minimale de calcul peut être réduite à 862 kPa (125 psi) (HCG, 1981).

4.1.1.3 Citernes portables. - On se sert parfois de citernes portables (amovibles) pour transporter de petites quantités d'anhydride sulfureux. La capacité et le poids de ces citernes varient selon les besoins. Les dispositifs et les procédés de vidange (déchargement) sont semblables à ceux qui servent pour les wagons-citernes et véhicules-citernes. Les citernes portables doivent être conformes à la spécification TC51 de Transports Canada ou à la spécification CCT51 de la Commission canadienne des transports, décrite au tableau 4 (RTDCR, 1974).

Tableau 3
Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 105A300W (TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Capacité nominale du réservoir (gal imp.)		
	9000	21 000	28 000
Structure			
Capacité nominale	41 000 l (9000 gal)	95 000 l (21 000 gal)	127 000 l (28 000 gal)
Tare	30 300 kg (66 800 lb)	40 800 kg (90 000 lb)	50 800 kg (112 000 lb)
Masse brute	80 300 kg (177 000 lb)	83 500 kg (184 000 lb)	119 000 kg (263 000 lb)
Réservoir (récipient intérieur)			
Matériau	Acier	Acier	Acier
Épaisseur	17,5 mm (11/16 po)	17,5 mm (11/16 po)	17,5 mm (11/16 po)
Diamètre intérieur	2,2 m (88 po)	2,4 m (95 po)	3,0 m (120 po)
Pression d'essai	2070 kPa (300 psi)	2070 kPa (300 psi)	2070 kPa (300 psi)
Pression d'éclatement	51 700 kPa (750 psi)	51 700 kPa (750 psi)	51 700 kPa (750 psi)
Dimensions approximatives			
Longueur avec organes d'attelage	13 m (42 pi)	20 m (65 pi)	20 m (67 pi)
Longueur avec pylônes de choc	12 m (40 pi)	19 m (63 pi)	20 m (64 pi)
Distance entre pivots de bogie	9 m (29 pi)	16 m (52 pi)	16 m (53 pi)
Hauteur jusqu'au sommet du caillebotis	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)	4 m (12 pi)
Hauteur hors-tout	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)	5 m (15 pi)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)	3,2 m (127 po)
Longueur du caillebotis	2 - 3 m (7 - 10 pi)	2 - 3 m (7 - 10 pi)	2 - 3 m (7 - 10 pi)
Largeur du caillebotis	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)	1,5 - 2 m (5 - 6 pi)
Chargement/déchargement (vidange)			
Raccords, robinets et soupapes	25 mm (1 po) ou 51 mm (2 po) par un robinet et 32 mm (1 1/4 po) par un clapet de retenue 2 raccords ou 2 robinets de vidange pour la phase gazeuse		
Dispositif de sûreté	Soupape de sûreté réglée à 1550 kPa (225 psi)		
Isolation	102 mm de mousse ou de fibre de verre		

4.1.2 **Bouteilles.** - Lorsqu'il n'est pas transporté en vrac, l'anhydride sulfureux est transporté en bouteilles. Le tableau 5 donne une description détaillée des bouteilles homo-

loguées et la figure 9 illustre les bouteilles couramment employées pour le transport de petites quantités (répondant p. ex. aux besoins d'un laboratoire).

Tableau 4
Caractéristiques de la citerne portable de spécification TC51/CCT51 (RTDC, 1974)

Construction	Acier; avec ou sans soudure Les citernes soudées par fusion doivent, après le soudage, subir un traitement thermique conformément au code de l'ASME.
Pression nominale	Ne doit pas être inférieure à la tension de vapeur à 46 °C (valeur minimale 828 kPa (120 psi) pour l'anhydride sulfureux). Pression de calcul maximale normalisée 1550 kPa (225 psi)
Organes de vidange	Solidement fixés à la citerne; en général, orifice de 25 mm (1 po) avec tube plongeur pour la phase liquide et orifice de 25 mm (1 po) vers la phase vapeur
Capacité	Non inférieure à l'équivalent de 453 kg (1000 lb) d'eau; non supérieure à l'équivalent de 907 kg (2000 lb) d'eau
Densité de remplissage	Maximum jusqu'à 125 p. 100 en poids de la capacité en eau de la citerne

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes. - Avant le déchargement (vidange), certaines précautions doivent être prises (MCA, 1953):

- Vérifier que le réservoir de stockage a une capacité suffisante pour recevoir le contenu de la citerne;
- En aucun cas le personnel ne doit pénétrer dans la citerne;
- Serrer les freins, caler les roues, poser les dérailleurs, et installer les écriteaux d'avertissement;
- Le poste de déchargement doit comporter un quai de déchargement sécuritaire.

Le transvasement doit s'effectuer comme suit (MCA, 1953):

- Raccorder une conduite de transvasement phase liquide de 25 mm (1 po) à l'orifice de vidange et raccorder le tuyau à air comprimé de 25 mm (1 po). Pour le déchargement, réduire la pression d'air à 860 kPa (125 psi). Installer sur le tuyau à air comprimé une soupape de sûreté qui réduira la pression à 900 kPa (130 psi). L'air doit être sec et propre (CCPA, 1984);

- Après avoir ouvert le robinet d'admission d'air, on peut ouvrir le robinet de déchargement du produit;
- Lorsque la citerne est vide, fermer le robinet d'admission d'air et ouvrir le robinet purgeur pour détendre la pression au niveau de la pression atmosphérique;
- Pour fermer la citerne, procéder aux mêmes opérations dans l'ordre inverse;
- Pour le déchargement par compresseur d'air, on relie le côté d'aspiration au sommet du réservoir de stockage et le côté de refoulement à l'un des robinets de la phase gazeuse de la citerne. L'une des tubulures de la phase liquide de la citerne est alors raccordée directement à la conduite-liquide du réservoir de stockage. Lorsque le compresseur est en marche, une pression différentielle de 207 kPa (30 psi) suffit pour refouler l'anhydride sulfureux dans le réservoir de stockage (MCA, 1953).

Les principales opérations de déchargement de l'anhydride de sulfureux sont semblables dans le cas des véhicules-citernes à ce qu'elles sont dans le cas des wagons-citernes.

4.2.2 Déchargement des bouteilles. - Avant de procéder au déchargement et au stockage des bouteilles à gaz, il importe de prendre les précautions suivantes (MCA, 1953):

- Les capots de protection des robinets doivent être bien vissés;
- Les bouteilles ne doivent pas être stockées près des systèmes de ventilation;
- Les bouteilles doivent être stockées dans un endroit où les risques de corrosion sont réduits au minimum;
- Les bouteilles doivent être en position verticale;
- Les bouteilles vides doivent être séparées des bouteilles pleines.

L'anhydride sulfureux sort de la bouteille à l'état liquide lorsque la bouteille est à l'envers et à l'état gazeux lorsqu'elle est à l'endroit (MCA, 1953).

4.2.3 Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement. - Les matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement, de même que les spécifications afférentes, sont ceux qui prévalent pour le transport de l'anhydride sulfureux. Il faut noter que d'autres matériaux peuvent être utilisés dans certains cas (voir le tableau 6).

Pour l'anhydride sulfureux sec, on recommande d'utiliser des conduites et des brides à souder en acier au carbone de série 40 (HCG, 1981). Utiliser des raccords soudés à brides parce que les conduites et les raccords filetés ont tendance à fuir. La réduction des contraintes aux soudures permet également de prolonger la durée de service de la tuyauterie. Celle-ci doit être mise à l'essai sous des pressions d'air de 860 à 900 kPa (125 à 130 psi) et toute fuite doit être corrigée. On recommande une tuyauterie de transvasement de 25 mm (1 po) ou de 51 mm (2 po), ces diamètres étant ceux des raccords de vidange standards des wagons-citernes. Néanmoins, la tuyauterie de transvasement peut être d'à peu près n'importe quel diamètre bien qu'il ne soit pas indiqué que le diamètre soit inférieur à 25 mm (1 po). Les sections extérieures doivent être du type à purge automatique.

Tableau 5
Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux bouteilles à gaz utilisées pour l'anhydride sulfureux

Numéro de la spécification	Description de la bouteille	Capacité pondérale (équivalente) en eau ou dimensions	Pression de service kPa (psi)
3A225	Acier; sans soudure	< 454 kg (1000 lb)	1552 (225)
3AA225	Acier; sans soudure	< 454 kg (1000 lb)	> 3448 (500)
3B225	Acier; sans soudure	< 454 kg (1000 lb)	1552 (225)
4A225	Acier; soudée et brasée	< 454 kg (1000 lb)	1552 (225)
4B225	Acier; soudée et brasée	< 454 kg (1000 lb)	1552 (225)
4BA225	Acier; soudée et brasée	< 454 kg (1000 lb)	1552 (225)
4BW225	Acier; soudure longitudinale à l'arc électrique	< 454 kg (1000 lb)	1552 (225)
4B240ET	Acier; soudée et brasée, en tube soudé par résistance électrique	< 5,4 kg (12 lb) ou 5460 cm^3 (333 po^3)	1655 (240)
3E1800	Acier; sans soudure	diamètre, < 51 mm (< 2 po); longueur, 610 mm (< 2 pi)	12 414 (1800)
ICC3			
ICC4			
ICC25			
ICC26-150			
ICC38			
ICC39			

Les tronçons souples de la tuyauterie de transvasement peuvent être constitués de conduites en acier inoxydable munies de joints tournants à rotule (sphérique) ou de joints à presse-garniture, dont le rendement est satisfaisant s'ils sont bien entretenus. Les flexibles en néoprène donnent de bons résultats mais on recommande d'utiliser un tuyau doublé d'hypalon (GF) pour les teneurs et températures élevées.

Pour les teneurs correspondant à la température de la pièce, des robinets à boisseau sphérique ou à tournant conique, à manoeuvre rapide, en alliage "20" ou en acier inoxydable 316 conviennent (MCA, 1953). Dans la plupart des cas, l'hypalon, l'amiante, le téflon ou le néoprène (polychloroprène) peuvent être utilisés comme matériau de garniture (GF; CCPA, 1984). Les garnitures en plomb sont en général utilisées pour les soupapes de sûreté (MCA, 1953).

Pour le pompage, il est recommandé d'utiliser une pompe centrifuge à aspiration unique avec arbre et turbine en alliage "20" et enveloppe en fonte à haute teneur en silicone. L'hypalon est un bon matériau de garniture (MCA, 1953).

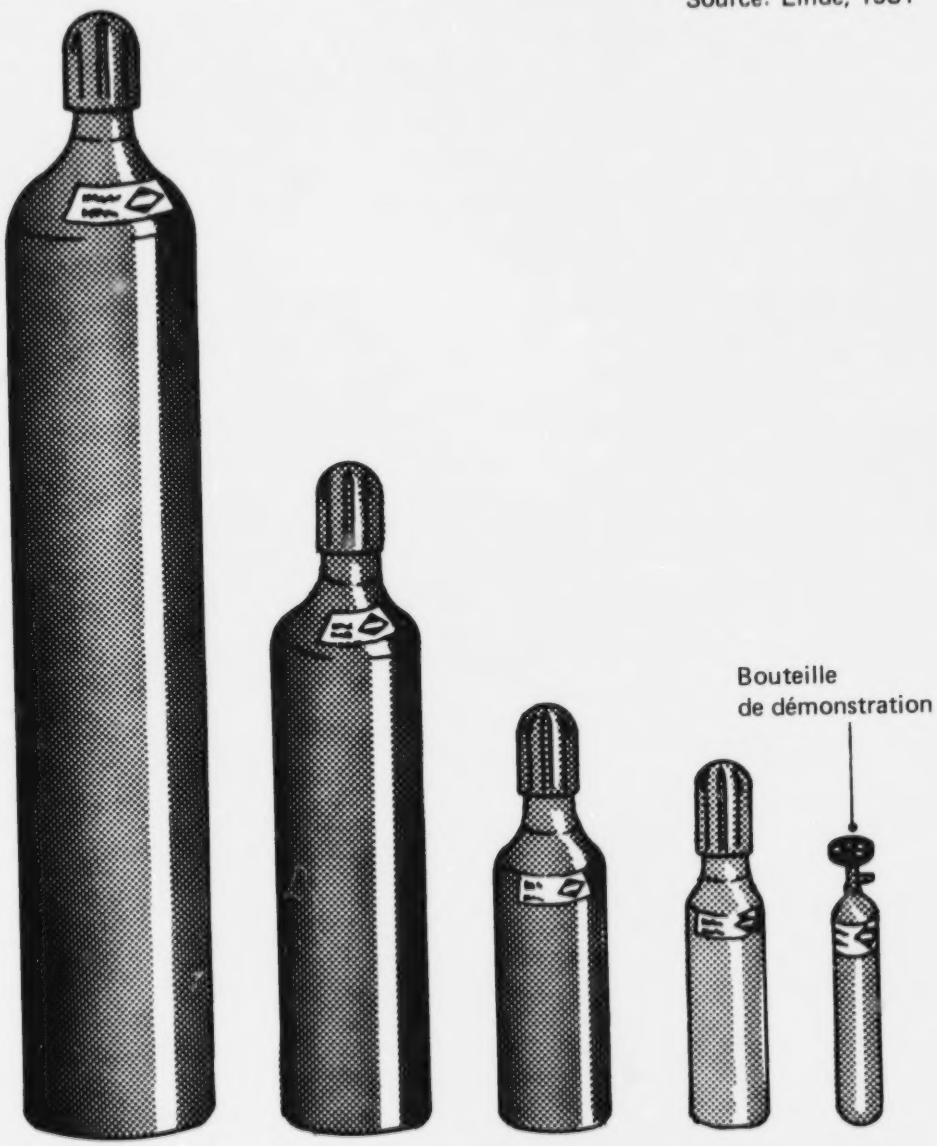
Pour l'anhydride sulfureux, anhydre ou aqueux, on utilise couramment des réservoirs de stockage à parois épaisses, soudées, en acier au carbone ou en acier inoxydable. Ces réservoirs

Figure 9

ANHYDRIDE SULFUREUX

BOUTEILLES À GAZ

Source: Linde, 1981



Code utilisé dans l'industrie		K	Q	G	F	LB
Dimensions (approximatives)	(mm)	229 x 1320	178 x 787	152 x 508	102 x 432	51 x 330
	(po)	9 x 52	7 x 31	6 x 20	4 x 17	2 x 13
Poids à vide (approximatif)	(kg)	60	29	13	5	1
	(lb)	132	65	29	10	4

doivent être conformes au code de l'ASME relatif aux réservoirs sous pression non soumis à l'action des flammes. Chaque réservoir de stockage doit être équipé d'une ou de deux soupape(s) de sûreté homologuée(s) réglée(s) à 1550 kPa (225 psi) (MCA, 1953).

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

La compatibilité entre l'anhydride sulfureux et certains matériaux de fabrication est indiquée au tableau 6. Les abréviations qui ne sont pas entre parenthèses sont expliquées au tableau 7. Voici une brève définition des termes utilisés pour évaluer les matériaux.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; il peut convenir pour une utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: L'utilisation indiquée causera une grave détérioration du matériau; l'emploi du matériau est donc déconseillé.

Tableau 6
Compatibilité entre l'anhydride sulfureux et certains matériaux de fabrication

Utilisation	État	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. Conduites et raccords	Gaz, mouillé	23		PVC II (DPPED, 1967)	
	Liquide	23	Fonte, Acier au carbone (Kirk-Othmer, 1983)	PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)
	Liquide	24	PVDC (DCRG, 1978) PE (MWPP, 1978)		
	Gaz, sec ou mouillé	49	PE (DPPED, 1967)		
	Gaz, sec ou mouillé	52	PVDC (DCRG, 1978)		
	Gaz, sec	60	PVC I PVC II (DCRG, 1967) Fonte, Acier au carbone (Kirk-Othmer, 1983)		
	Gaz, mouillé	60		PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)
	Liquide	66			PVC I (DPPED, 1967)

Utilisation	État	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
	Gaz, sec ou mouillé, liquide	66	PVDF (DCRG, 1978)		
	Gaz, sec ou mouillé	79	PP (DCRG, 1978)		
	Gaz, mouillé	79	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
	Liquide				Polyéther chloré (DCRG, 1978) PVCI ABS (MWPP, 1978)
	Gaz		CS Fonte à haute teneur en silicone (HCG, 1981)		
2. Robinetterie	Gaz, humide	21	Acier inox 316 Alliage "20" (JSSV, 1979)		
	Gaz, sec	302	Acier inox 316 Alliage "20" (JSSV, 1979)		
3. Pompes	Gaz, sec		Fonte à haute teneur en silicone (MCA, 1953)		
4. Réservoirs de stockage	Gaz, sec		CS (MCA, 1953; HCG, 1981)		Zinc (HCG, 1981)
	Gaz, mouillé		Acier inox 316 Plomb (HCG, 1981)		
5. Autres	Gaz, humide	20	Aciers inox 302, 304, 316, 410, 430 (ASS)		
	Mouillé	22	PVC (TPS, 1978)		CPVC (TPS, 1978)
	Sec	22	CPVC (TPS, 1978)		
	Sec, mouillé	23	PP (TPS, 1978)		
	Humide, aqueux	50	uPVC, PE, PP NBR, IIR EPDM, CR CSM (GF)	FPM (GF)	POM NR (GF)
	Tous, humide, aqueux	60	PE, PP NBR, IIR EPDM, CR CSM (GF)	uPVC FPM (GF)	POM NR (GF)

Utilisation	État	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
	Tous, sec	60	uPVC PE, PP IIR, EPDM CR, FPM CSM (GF)	POM NBR (GF)	NR (GF)
	Sec	60	PVC (TPS, 1978)		
	Mouillé	60			PVC (TPS, 1978)
	Liquide, techniquement pur	60	NBR, IIR EPDM, CR FPM, CSM (GF)	PE POM (GF)	uPVC NR (GF)
	Sec, mouillé	66	PVDF (TPS, 1978)		
	Sec, tous	80	IIR EDPM CR, FPM CSM, (GF)	PE, PP NBR (GF)	uPVC, POM NR (GF)
	Liquide	24 à 149	Verre (CDS, 1967)		SBR (GPP)
	Liquide	24 à 204	Béton (CDS, 1967)		
	Liquide	> 204		Béton (CDS, 1967)	
	Liquide	24	Bois (CDS, 1967)		

Tableau 7
Abréviations normalisées des noms de matériaux de fabrication

Abréviation*	Matériau de fabrication
ABS	Plastique à base d'acrylonitrile-butadiène-styrène
CPVC	Polychlorure de vinyle chloré
CR	Néoprène (polychloroprène)
CSM	Polyéthylène chlorosulfonaté (Hypalon)
EPDM	Terpolymère d'éthylène-propylène-diène
FPM	Caoutchouc fluoré (Viton)
IIR	Butylcaoutchouc (butyle)
NBR	Butadiène-acrylonitrile (Nitrile, Buna N)
NR	Caoutchouc (caoutchouc naturel)
PE	Polyéthylène
POM	Polyoxyméthylène
PP	Polypropylène
PVC	Polychlorure de vinyle
PVDC	Polychlorure de vinylidène (Saran)
PVDF	Polyfluorure de vinylidène
SBR	Butadiène-styrène (GR-5, Buna S)
uPVC	Polychlorure de vinyle non plastifié

* Les abréviations ci-dessus sont normalisées par l'ISO.

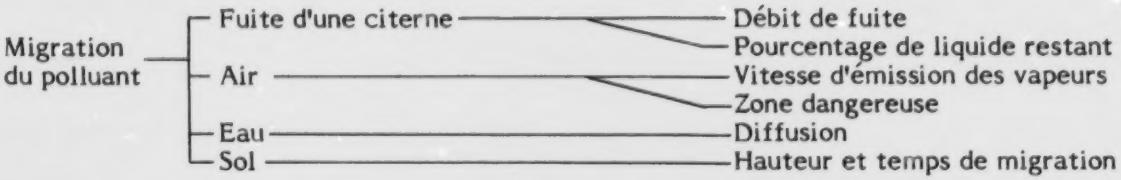
5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

L'anhydride sulfureux est transporté ordinairement à l'état liquide, dans des wagons-citernes sous pression, conçus à cette fin. Déversé dans l'eau, l'anhydride sulfureux liquide s'enfonce et entre en ébullition, ce qui entraîne à la fois une pollution de l'eau et la formation d'un nuage visible de vapeurs toxiques qui tendent à ramper et à s'étaler au ras de l'eau, au lieu de s'élever et de se disperser. L'anhydride sulfureux est modérément soluble et se dissout facilement dans l'eau.

Lorsque l'anhydride sulfureux est déversé sur le sol, il s'évapore en partie et le reste pénètre dans le sol, à une vitesse qui dépend du type de sol et de son degré de saturation en eau. La migration du polluant vers la nappe phréatique constitue une menace pour l'environnement.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration de l'anhydride sulfureux dans l'air, l'eau ou le sol.



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques, en prévision du pire. Suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits dans les pires scénarios à partir d'hypothèses cohérentes.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. - L'anhydride sulfureux est transporté habituellement par wagons-citernes, à l'état de gaz comprimé liquéfié, à la température ambiante. Les modèles de wagons-citernes varient beaucoup, de sorte que nous avons dû en choisir un en particulier pour établir les nomogrammes des fuites. Le modèle choisi a un diamètre de 2,75 m, une longueur de 13,4 m et il peut contenir environ 80 000 l.

Si la paroi d'une citerne remplie d'anhydride sulfureux est perforée au-dessous du niveau du liquide, tout le contenu s'en échappe. Le débit instantané q de fuite est fonction de la hauteur h du liquide au-dessus de l'orifice, de la pression interne de la citerne, de la surface de

la section s et de la forme de l'orifice, ainsi que du coefficient de débit Cq. Pour l'établissement des nomogrammes, nous avons supposé un coefficient de débit de 0,8.

Si la citerne est perforée dans le haut ou en tout point au-dessus du niveau du liquide, il y aura fuite de gaz jusqu'à ce que le liquide soit complètement évaporé et que les pressions interne et externe de la citerne se soient équilibrées. Pour établir les nomogrammes, nous avons supposé que la température du liquide restait constante et qu'elle égalait la température ambiante. Par conséquent, le débit d'évaporation est supposé constant jusqu'à ce que tout le liquide se soit évaporé. Ce débit est fonction de la pression interne, laquelle égale la tension de vapeur saturante du liquide à une température donnée. La température ambiante maximale de la citerne est posée à 40 °C, ce qui donne une tension de vapeur saturante de 600 kPa.

L'hypothèse de l'isothermie maximise le débit de fuite du gaz et, dans la plupart des cas, aboutit à une estimation prudente.

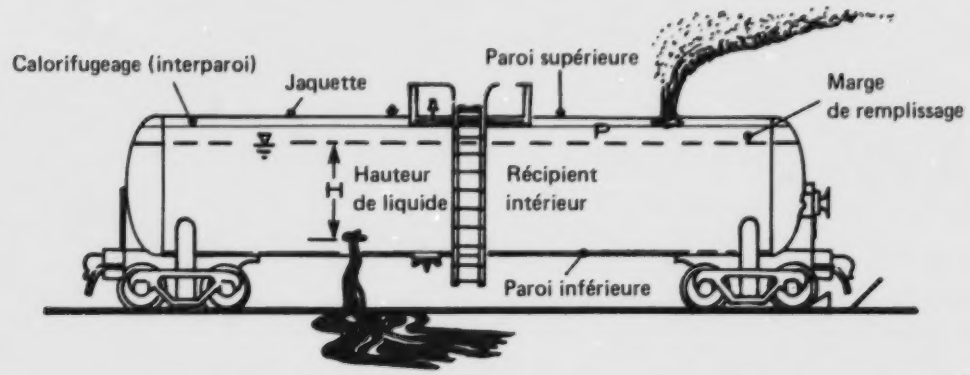


Figure 10 ORIFICE AU-DESSUS OU AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE

L'objet des nomogrammes est d'aider à suivre l'évolution des fuites au-dessous du niveau du liquide (déversement liquide) ou au-dessus du niveau du liquide (dégagement gazeux). Les détails des modèles qui ont servi à calculer les débits de fuite sont décrits dans le *Manuel d'introduction Enviroguide.*

5.2.2 Nomogrammes des fuites

5.2.2.1 Perforation dans le bas: fuite de liquide

Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé. - La figure 11 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans le wagon-citerne type à tout moment après la perforation, selon le diamètre de l'orifice. Ce diamètre est en fait un diamètre équivalent et vaut pour des orifices de toutes formes.

On suppose que la citerne est pleine au moment de la perforation et qu'elle contient environ 80 000 l d'anhydride sulfureux à 40 °C. La quantité de liquide restant à un moment donné n'est pas seulement une fonction du débit selon le temps, mais aussi de la taille et de la forme de la citerne.

Débit de fuite en fonction du diamètre de l'orifice. - La figure 12 permet d'évaluer le débit maximal (l/s) selon le diamètre équivalent de l'orifice. Comme la pression prévaut sur la force de pesanteur, le débit reste relativement constant à mesure que la citerne se vide.

5.2.2.2 Perforation dans le haut: fuite de gaz

Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé. - La figure 13 permet d'évaluer le pourcentage d'anhydride sulfureux restant dans le wagon-citerne type à tout moment après la perforation, selon le diamètre de l'orifice. Ce diamètre est en fait un diamètre équivalent, qui vaut pour un orifice non circulaire. Comme nous avons supposé que les conditions étaient isothermes, la pression interne et le débit de fuite sont constants. Il faut noter que l'isothermie postulée donne un très fort débit de fuite. Dans une situation normale, le débit pourrait être beaucoup plus faible.

Débit de fuite en fonction du diamètre de l'orifice. - La figure 14 montre la relation entre le débit (massique) de fuite (kg/s) et le diamètre équivalent de l'orifice au-dessus du niveau du liquide. Pour un orifice de diamètre donné, le débit sera constant jusqu'à ce que tout le liquide soit vaporisé, conformément à l'hypothèse de l'isothermie dans la citerne; l'évaluation du débit est donc prudente.

Les valeurs données à la figure 14 sont indépendantes de la taille de la citerne, mais se fondent sur l'hypothèse selon laquelle la température du liquide est de 40 °C, ce qui se traduit par une tension de la vapeur saturante de 630 kPa.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Le bas d'un wagon-citerne type rempli d'anhydride sulfureux à 40 °C est perforé. L'orifice, situé au-dessous du niveau du liquide, a un diamètre équivalant à 150 mm. Quel pourcentage des 80 000 l reste-t-il une minute après la perforation et quel est le débit instantané de fuite?

Étape 1 Calculer le volume restant à t = 1 mn.

Se reporter à la figure 11.

Si t = 1 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 62 p. 100 (soit 50 000 l) du volume initial.

Étape 2 Calculer le débit instantané de fuite.

Se reporter à la figure 12.

Si D = 150 mm, le débit instantané de fuite q = 630 l/s.

Figure 11

ANHYDRIDE SULFUREUX

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

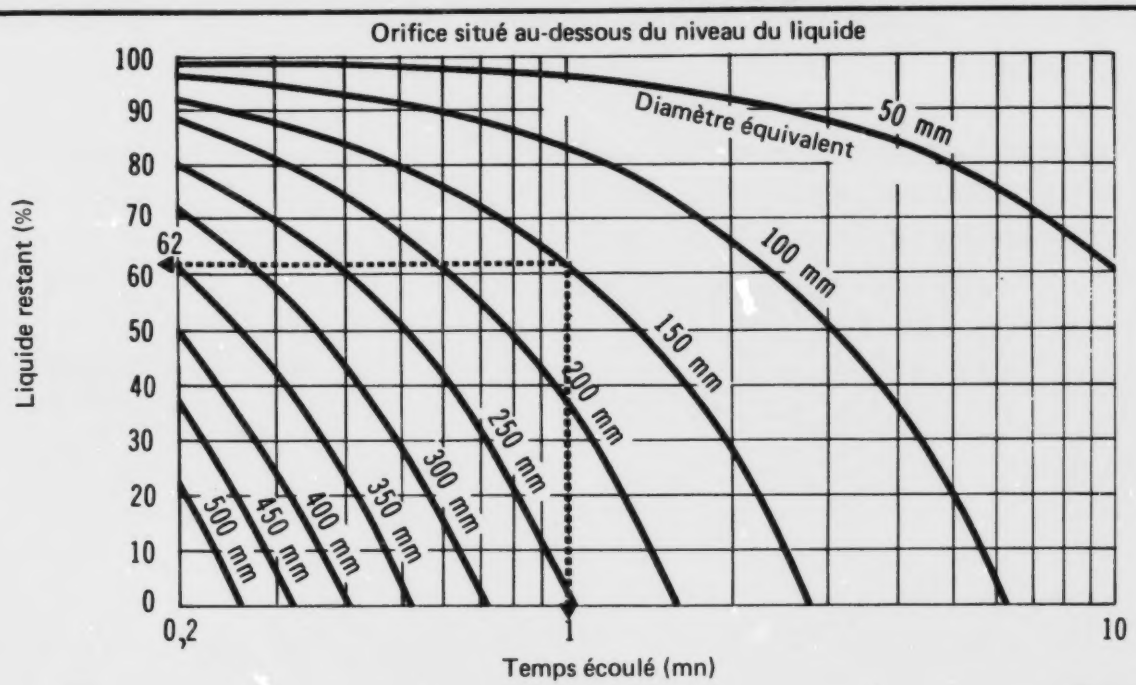


Figure 12

ANHYDRIDE SULFUREUX

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU DIAMÈTRE DE L'ORIFICE

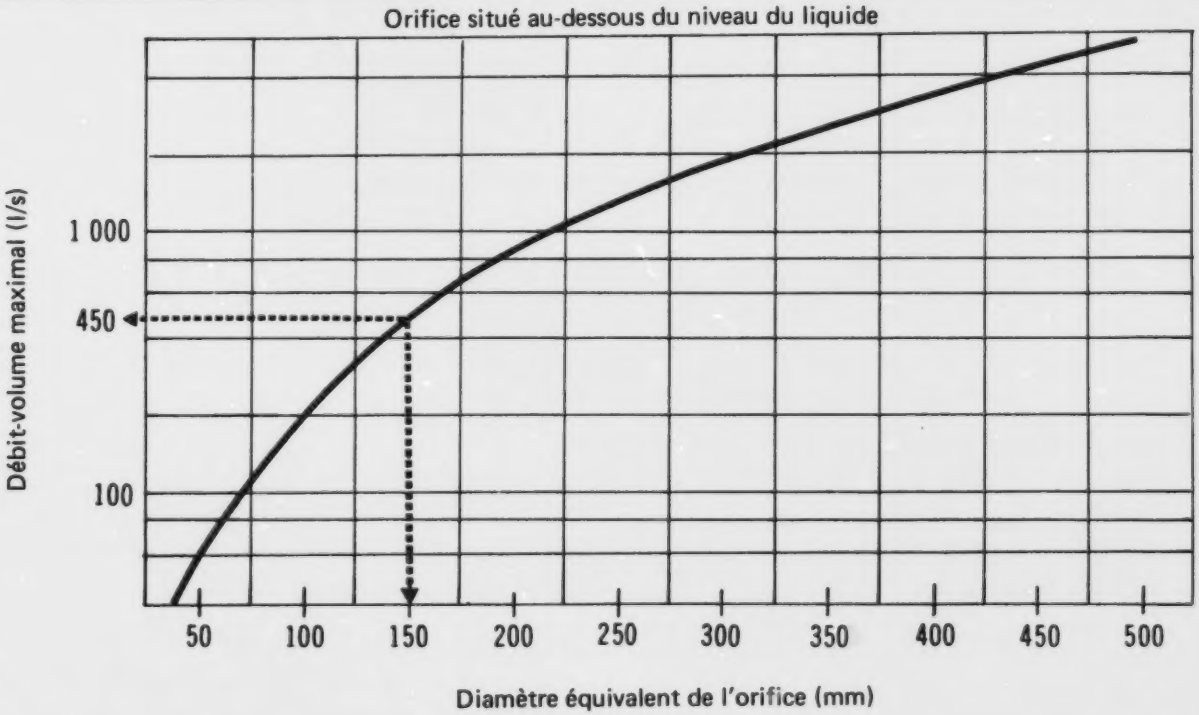


Figure 13

ANHYDRIDE SULFUREUX

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

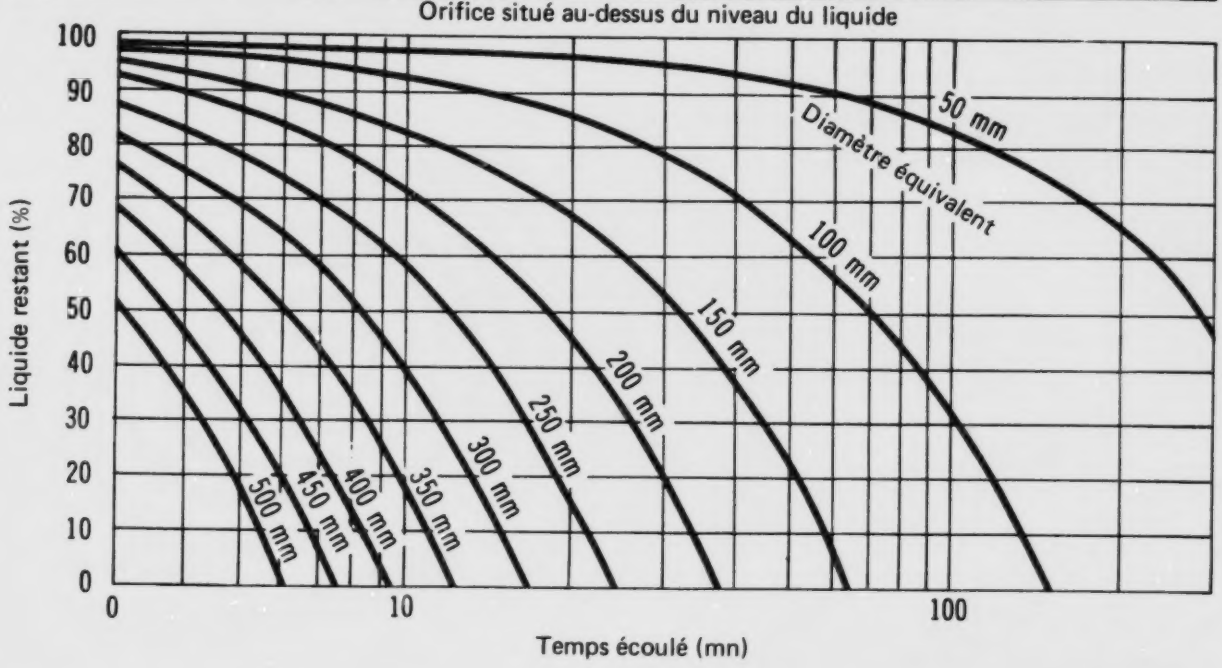
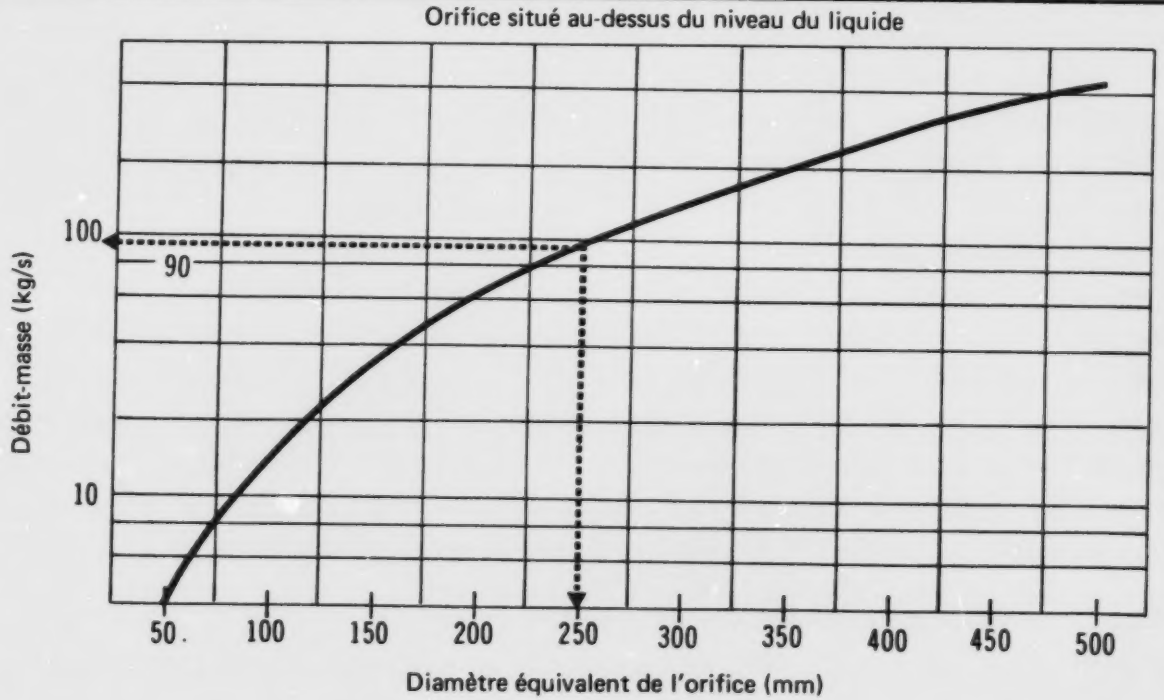


Figure 14

ANHYDRIDE SULFUREUX

DÉBIT DE FUITE EN FONCTION DU DIAMÈTRE DE L'ORIFICE



PROBLÈME B

Le wagon type (mêmes données que le problème A) est perforé au-dessus du niveau du liquide. Le diamètre équivalent de l'orifice est évalué à 250 mm. Combien de temps faudra-t-il pour que la citerne se vide et quel est le débit de fuite, les conditions étant supposées isothermes?

Étape 1 Combien de temps la citerne mettra-t-elle à se vider?

Se reporter à la figure 13.

Si D = 250 mm, la citerne se vide en 25 mn environ.

Étape 2 Calculer le débit de fuite.

Se reporter à la figure 14.

Si D = 250 mm et si les conditions sont isothermes, le débit est constant à 90 kg/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. - L'anhydride sulfureux sous pression est un liquide extrêmement volatil. S'il se déverse sur le sol ou dans l'eau, la vaporisation est si rapide qu'on la considère "instantanée". Pour désigner cette émission subite, ponctuelle, on parle de *bouffée*, (par opposition au *panache* auquel correspond une émission continue). C'est le seul type d'émission dans l'atmosphère dont il sera question dans les paragraphes qui suivent.

Pour évaluer les teneurs en vapeurs du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) dans l'atmosphère des vapeurs. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein de la bouffée; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

La figure 15 schématise la diffusion d'une bouffée émise par un point source. Le modèle de diffusion réduit la nappe de liquide déversé à un point source ponctuel, ou instantané, dont l'émission (ponctuelle) est égale à la quantité totale de liquide déversé.

On ne possède aucune donnée utile sur le comportement d'un nuage de vapeurs d'anhydride sulfureux, mais on prévoit qu'au début, immédiatement après le déversement, le nuage se comportera comme un gaz plus lourd que l'air. La cause principale est la densité du gaz sulfureux (2,2 fois celle de l'air à 20 °C); s'y ajoute le fait que le nuage s'échappant de la masse de liquide froid est lui-même froid. Aussi est-il possible que dans les minutes qui suivent le déversement on observe des vapeurs au ras du sol, concentrées en particulier dans les dépressions. La modélisation classique basée sur les formules de Gauss tend à présenter les bouffées de gaz plus lourds que l'air plus étroites qu'elles ne le sont en réalité.

5.3.2 Nomogrammes de la diffusion de la bouffée de vapeurs. - Les nomogrammes de la diffusion atmosphérique servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et

de l'inflammabilité. Les figures et tableaux présentés ci-après apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Tableau 8 Catégories météorologiques (de stabilité)

Figure 17 Teneur uniformisée en vapeurs, en fonction d'une distance donnée sous le vent, pour différentes catégories météorologiques

Tableau 9 Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse

Figure 19 Distance parcourue par la bouffée, en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

La figure 16 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de la diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. - La figure 17 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories D et F de conditions (météorologiques) de stabilité. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le *Manuel d'introduction Enviroguide.* La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée au ras du sol le long de la médiane de la bouffée schématisée. La catégorie F est la moins propice à la diffusion de la bouffée; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 8) avant d'utiliser la figure 17.

Tableau 8
Catégories météorologiques (de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (≈ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	S'applique à toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 17, si l'on possède les données suivantes:

Masse de vapeurs émises m_e (= masse de liquide déversé);

Figure 15

ANHYDRIDE SULFUREUX — **FORMATION D'UNE BOUFFÉE DE VAPEURS**

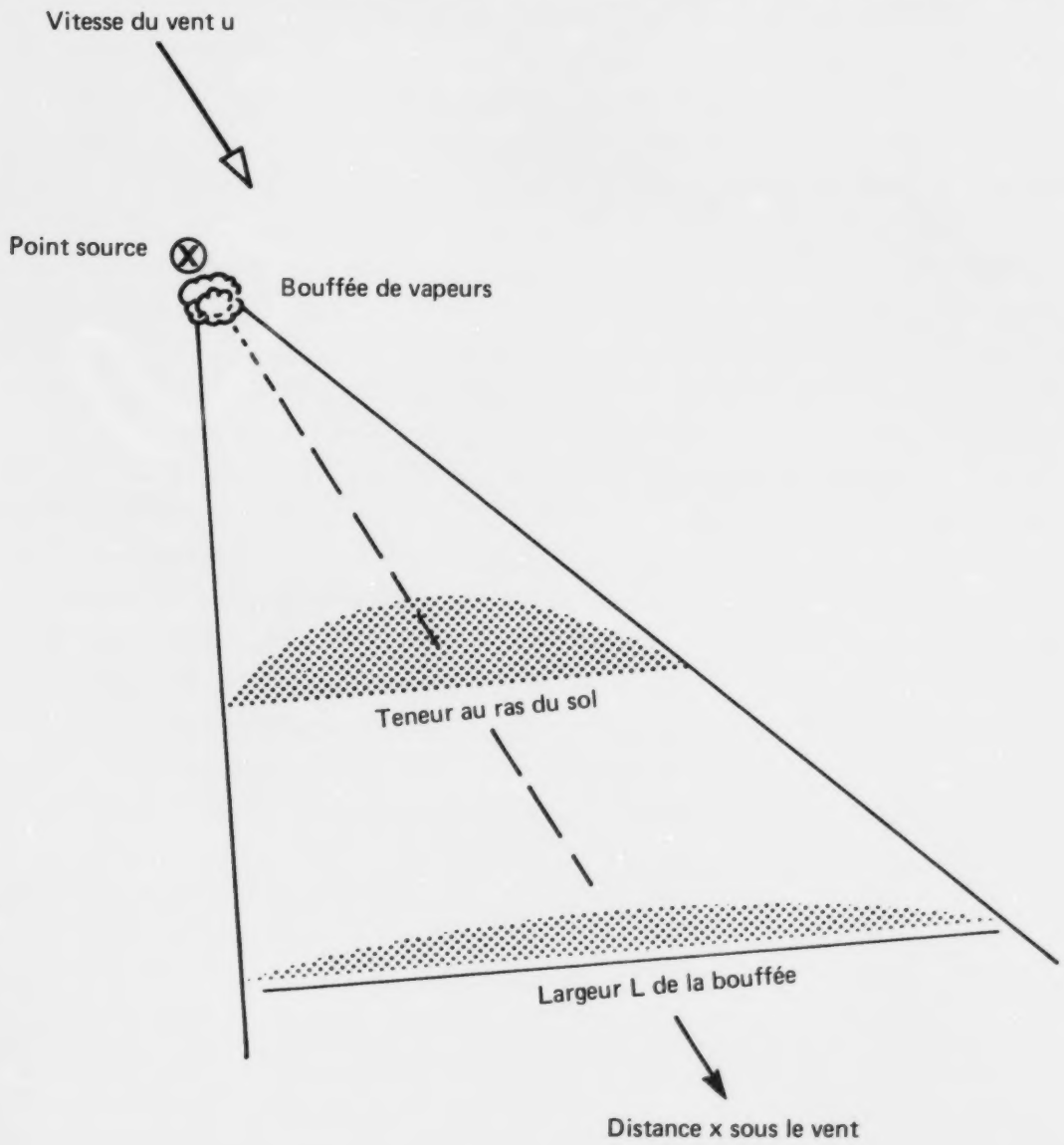


Figure 16

ANHYDRIDE SULFUREUX

ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE

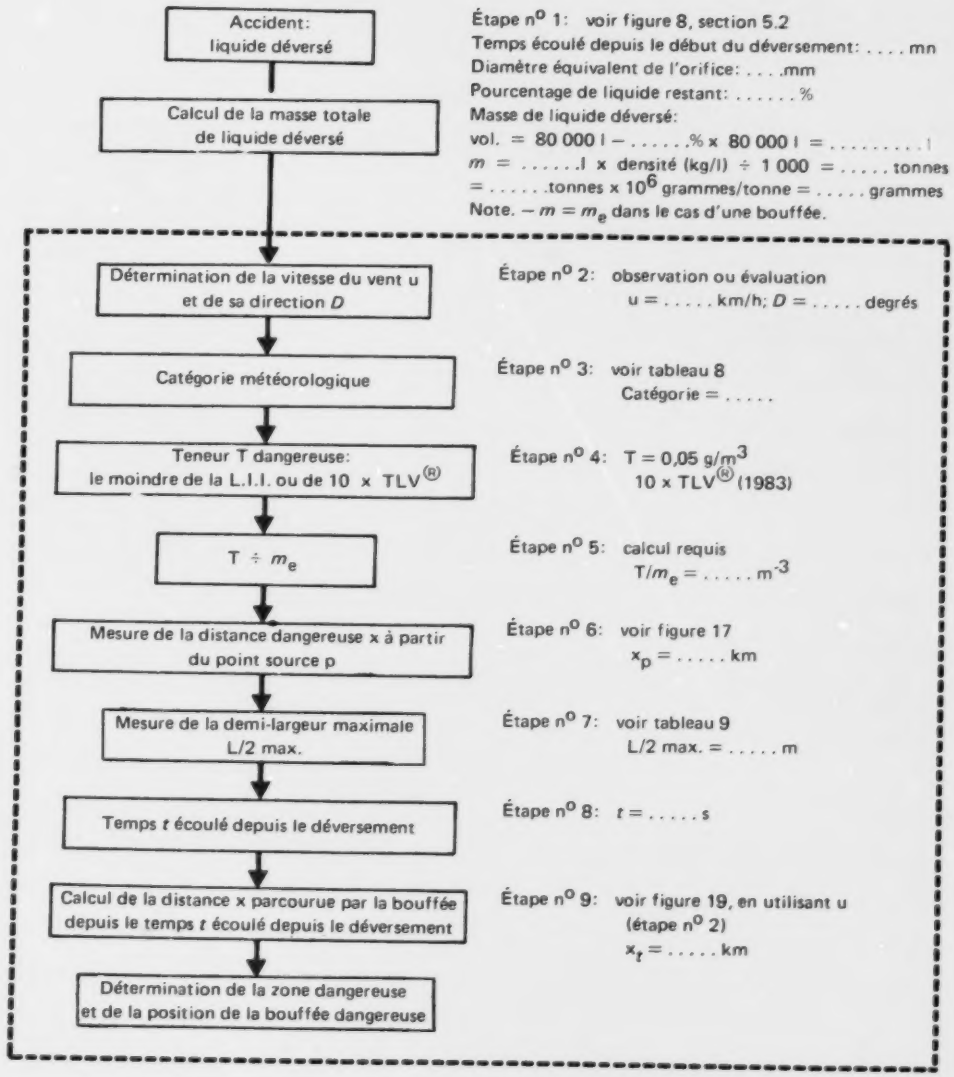
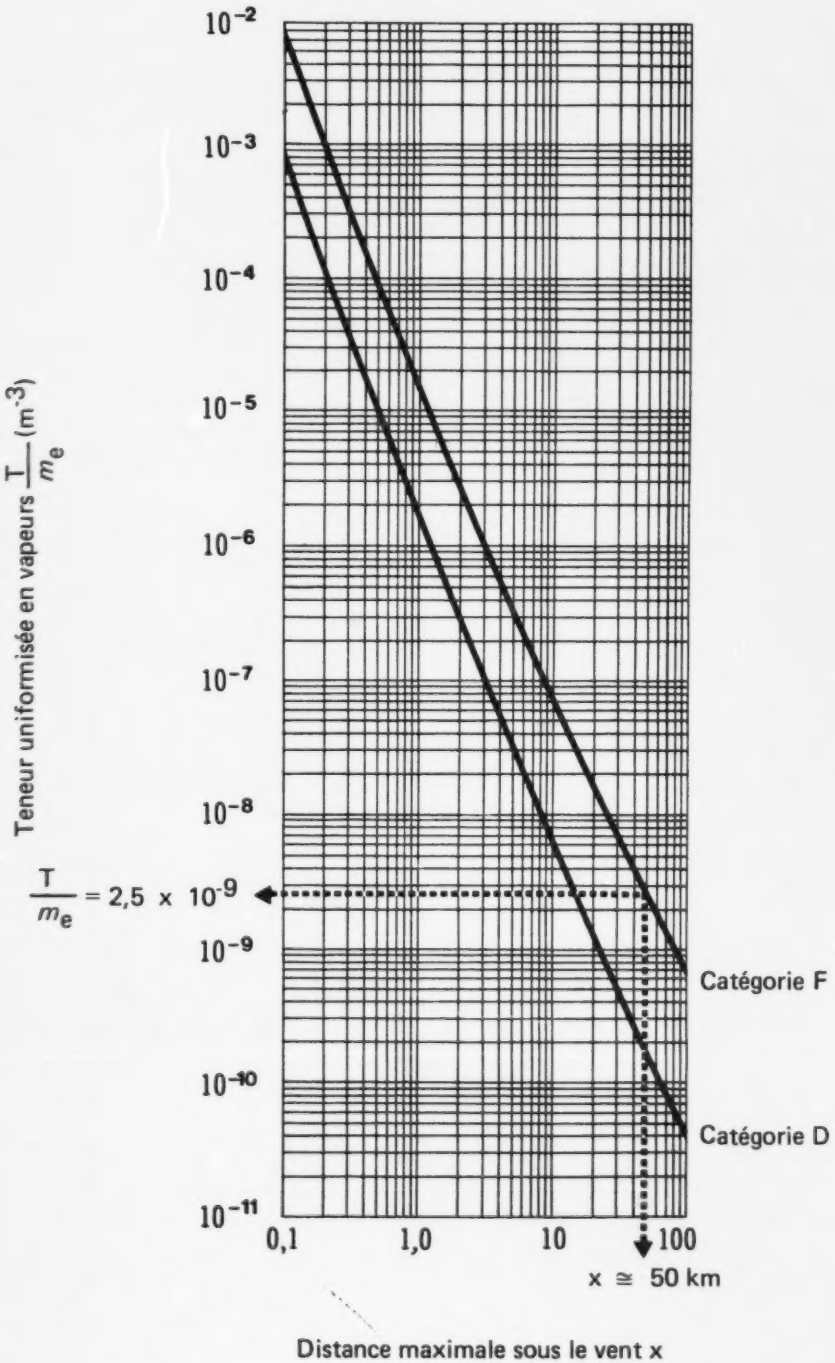


Figure 17

ANHYDRIDE SULFUREUX

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT



Vitesse du vent u, en m/s;

Catégorie météorologique (de stabilité);

Teneur T dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la *Threshold Limit Value*• (g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (g/m^3), sauf s'il s'agit de vapeurs ininflammables, auquel cas il faut opter pour 10 x TLV•. (Pour convertir en g/m^3 la TLV•, utiliser la figure 18.)

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV•, a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite "relativement réaliste" au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV• est une norme de qualité du milieu de travail pour une exposition de longue durée. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse de l'atmosphère, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.2 Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse. - Le tableau 9 présente des valeurs de la demi-largeur maximale L/2 max. de la bouffée pour une plage de valeurs m_e, en fonction des catégories de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*, en supposant une teneur dangereuse limite (teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV• attribuée à l'anhydride sulfureux (soit 10 x 0,05 g/m^3). La demi-largeur de la bouffée dangereuse représente la demi-largeur du nuage de vapeurs d'anhydride sulfureux, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à 10 x TLV•. Le tableau 9 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 0,05 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité D, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 30 m/s. Par ailleurs, l'éventail de masses de vapeurs émises, dans le tableau 9, va de 0,01 à 1600 tonnes. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 116 000 kg (116 tonnes). Le tableau 9, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses 13 fois plus considérables.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 3 m/s. Le tableau 9 comporte un éventail de masses de vapeurs émises qui va de 0,01 à 75 tonnes pour des conditions de catégorie F. Ainsi, pour la catégorie F, le tableau 9 fournit des chiffres calculés en fonction de masses représentant seulement 65 p. 100 de la charge utile d'un wagon-citerne type.

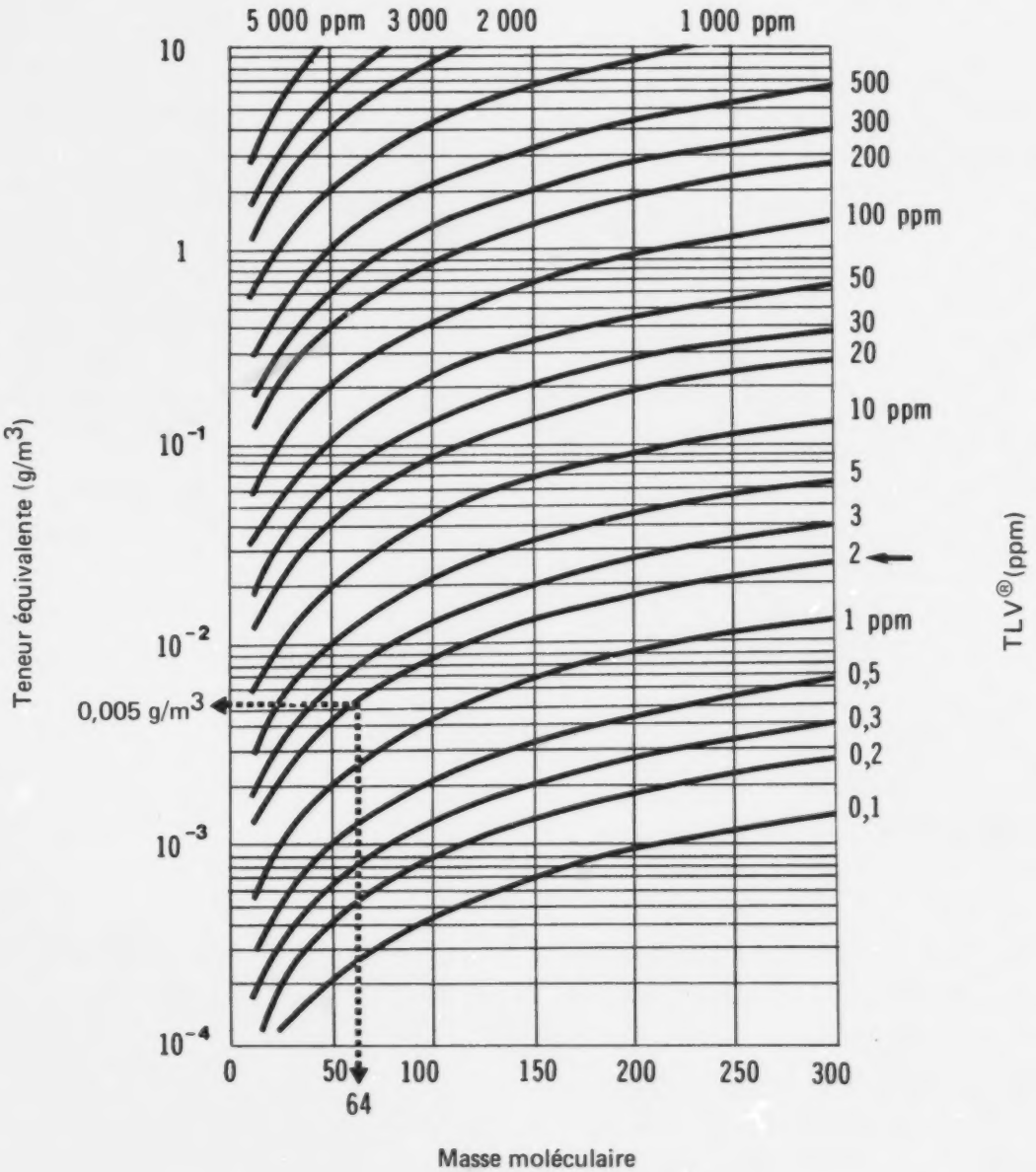
UTILISATION DU NOMOGRAMME

La masse de vapeurs émises étant connue, de même que la catégorie de stabilité, choisir la valeur la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante. Si aucune valeur n'est suffisamment proche, déterminer par interpolation m_e et L/2 max. (Voir aussi l'exemple qui accompagne le tableau 9.)

Figure 18

ANHYDRIDE SULFUREUX

CONVERSION DES UNITÉS DE LA TLV® (ppm en g/m³)



Exemple. – Masse moléculaire de l'anhydride sulfureux = 64; TLV® = 2 ppm; alors TLV® en g/m³ = 0,005.

Note. – Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Tableau 9
Demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse de vapeurs d'anhydride sulfureux

Catégorie météorologique D			Catégorie météorologique F	
m_e (tonnes)	L/2 max. (m)		m_e (tonnes)	L/2 max. (m)
1600	4020 (99,5 km)*		75	1860 (99,5 km)*
1500	3920		70	1805
1250	3660		60	1690
1000	3360		50	1565
750	3010		40	1425
500	2580		30	1260
400	2365		25	1165
300	2120	m_e = 20 tonnes →	20	1060 → L/2 max. = 1060 m
250	1980		15	935
200	1815		10	790
150	1625		5	585
100	1395		2,5	440
75	1250		1	305
50	1070		0,5	235
25	820		0,25	180
20	755		0,1	125
15	680		0,05	95
10	590		0,01	50
5	455			
2,5	350			
1	250			
0,5	195			
0,1	110			
0,05	85			
0,01	50			

* Les valeurs de demi-largeur valent jusqu'à une distance de 100 km.

Note. - Les données ci-dessus valent pour une teneur de 0,05 g/m^3.
Exemple. - Pour une masse de 20 tonnes de vapeurs émises, la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse est de 1060 mètres.

5.3.2.3 Distance parcourue par la bouffée, en fonction du temps écoulé. - La figure 19 indique la distance x parcourue par la bouffée après un temps t de déplacement pour une vitesse u de vent donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse u du vent et le temps t de déplacement de la bouffée étant connus, la distance x_t parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

5.3.3 Exemple de calcul. - L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse du côté sous le vent du lieu où se produit

un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur se serve de données connues ou observables.

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes d'anhydride sulfureux liquide ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

Étape 1 La masse m de liquide déversé est de 20 tonnes.

m_e = 20 tonnes (ou 2×10^7 g).

Étape 2 Déterminer la vitesse u du vent et sa direction.

Utiliser l'information météorologique accessible (de préférence les observations faites sur place).

Si u = 7,5 km/h, u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s.

Direction = 315° ou N.-O. (d'où souffle le vent).

Étape 3 Déterminer la catégorie de stabilité (tableau 8).

Si u < 11 km/h et s'il fait nuit, catégorie = F.

Étape 4 Déterminer la teneur T dangereuse limite.

Opter pour la valeur la moindre entre 10 x TLV• et la limite inférieure d'inflammabilité; dans le cas présent les vapeurs sont inflammables, donc:

T = 10 x TLV• = 0,005 g/m^3.

Étape 5 Calculer T/m_e.

$$T/m_e = \frac{0,05}{2 \times 10^7} = 2,5 \times 10^{-9}\ m^{-3}.$$

Étape 6 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p de la bouffée.

Voir figure 17. Pour une catégorie F de conditions météorologiques,

si $T/m_e = 2,5 \times 10^{-9}\ m^{-3}$, x ≈ 50 km.

Étape 7 Calculer la demi-largeur maximale L/2 max. de la bouffée dangereuse.

Se servir du tableau 9. La masse de vapeurs émises étant de 20 tonnes, pour la catégorie de stabilité F, L/2 max. = 1060 m.

Étape 8 Déterminer le temps t écoulé depuis le début du déversement.

t = 5 mn x 60 = 300 s.

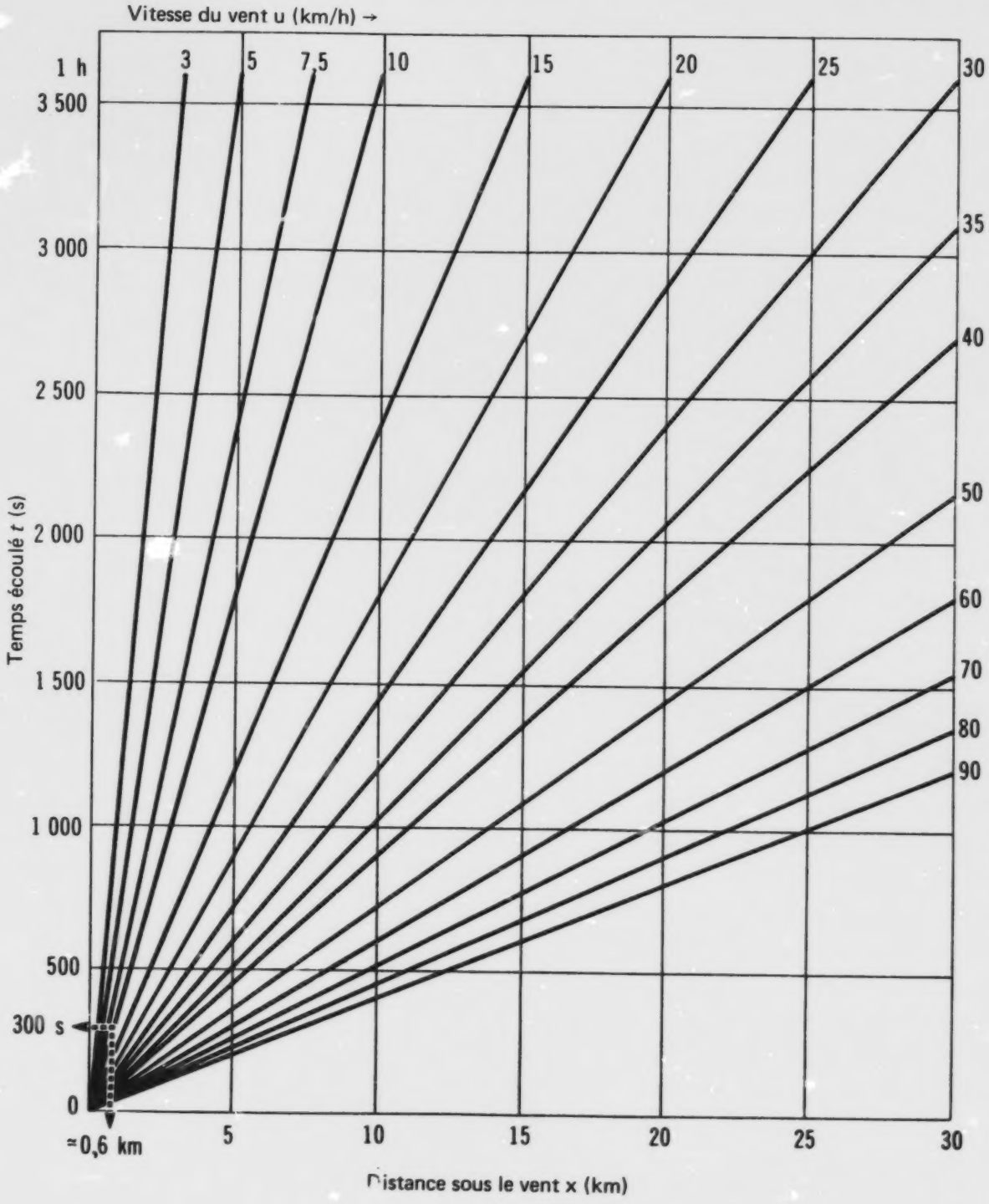
Étape 9 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le bouffée depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 19. Si t = 300 s et u = 7,5 km/h, x_t = 0,6 km (plus précisément: $x_t = ut$ = 2,1 m/s x 300 s = 630 m = 0,63 km).

Figure 19

ANHYDRIDE SULFUREUX

DISTANCE PARCOURUE PAR LA BOUFFÉE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



Étape 10 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale de la bouffée dangereuse (1060 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir du point source (50 km) et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 20).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°), le schéma de la zone dangereuse correspondant à celui de la figure 21.

Note. - Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, la bouffée a franchi seulement 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 395 minutes avant que la bouffée franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 50 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. - Déversé à la surface de l'eau, l'anhydride sulfureux s'enfonce et bout en se dissolvant partiellement. Il y a mélange de la phase aqueuse et le produit se dilue. En général, le phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent; alors que dans un plan d'eau (étendue d'eau calme) il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'un cours d'eau en aval du lieu d'un déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides qui se dissolvent dans l'eau. Il vaut donc pour l'anhydride sulfureux.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans un plan d'eau, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

Figure 20

ANHYDRIDE SULFUREUX

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME

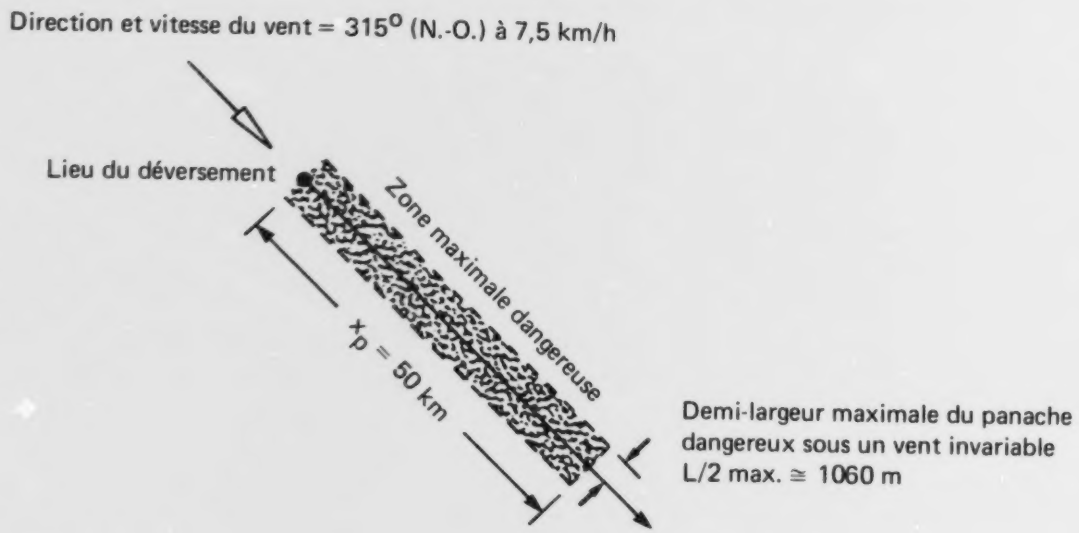
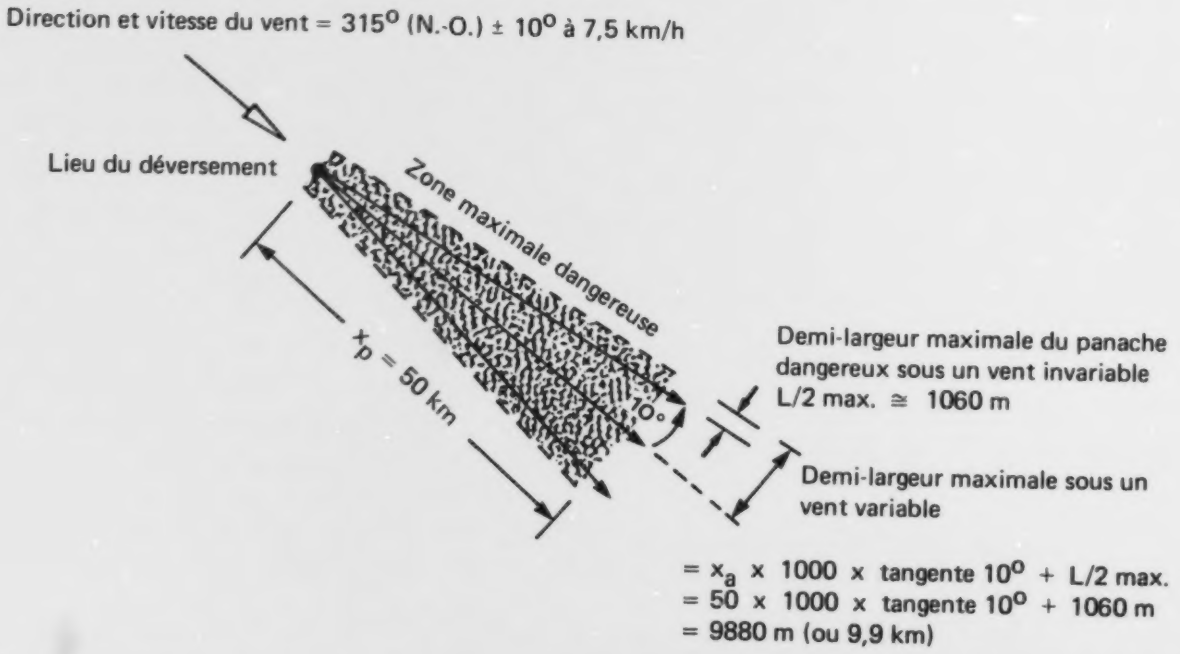


Figure 21

ANHYDRIDE SULFUREUX

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME



5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau. - Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant des cours d'eau non soumis aux marées et des lacs au repos et autres plans d'eau.

A. - Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 23 Distance en fonction du temps (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 24 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal (pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau))

Figure 25 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 26 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente (pour différentes valeurs de temps écoulé)

Figure 27 Delta* en fonction d'alpha (pour différentes masses de liquide déversé)

Figure 28 Teneur maximale en fonction de delta (pour des sections mouillées de différentes surfaces)

B. - Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 29 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs du lac, c.-à-d. différentes hauteurs d'eau)

Figure 30 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

La figure 22 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 23 Distance en fonction du temps. - Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps *t* que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 24 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. - Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au

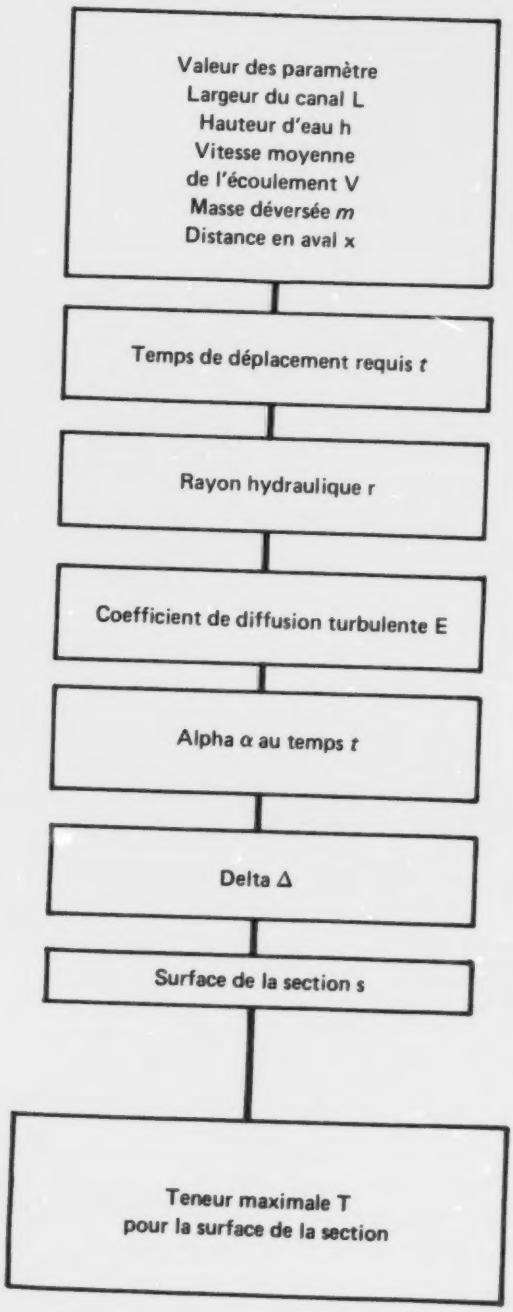
---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 22

ANHYDRIDE SULFUREUX

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



Étape 1

Par observation ou évaluation

L = _____ m
h = _____ m
V = _____ m/s
m = _____ tonnes
x = _____ m

Étape 2 *t* = _____ mn (fig. 23)

Étape 3 r = _____ m (fig. 24)

Étape 4 E = _____ m^2/s (fig. 25)

Étape 5 α = _____ (fig. 26)

Étape 6 Δ = _____ (fig. 27)

Étape 7 s = L x h = _____ m^2

Étape 8 T = _____ ppm (fig. 28)

Figure 23

ANHYDRIDE SULFUREUX

DISTANCE EN FONCTION DU TEMPS

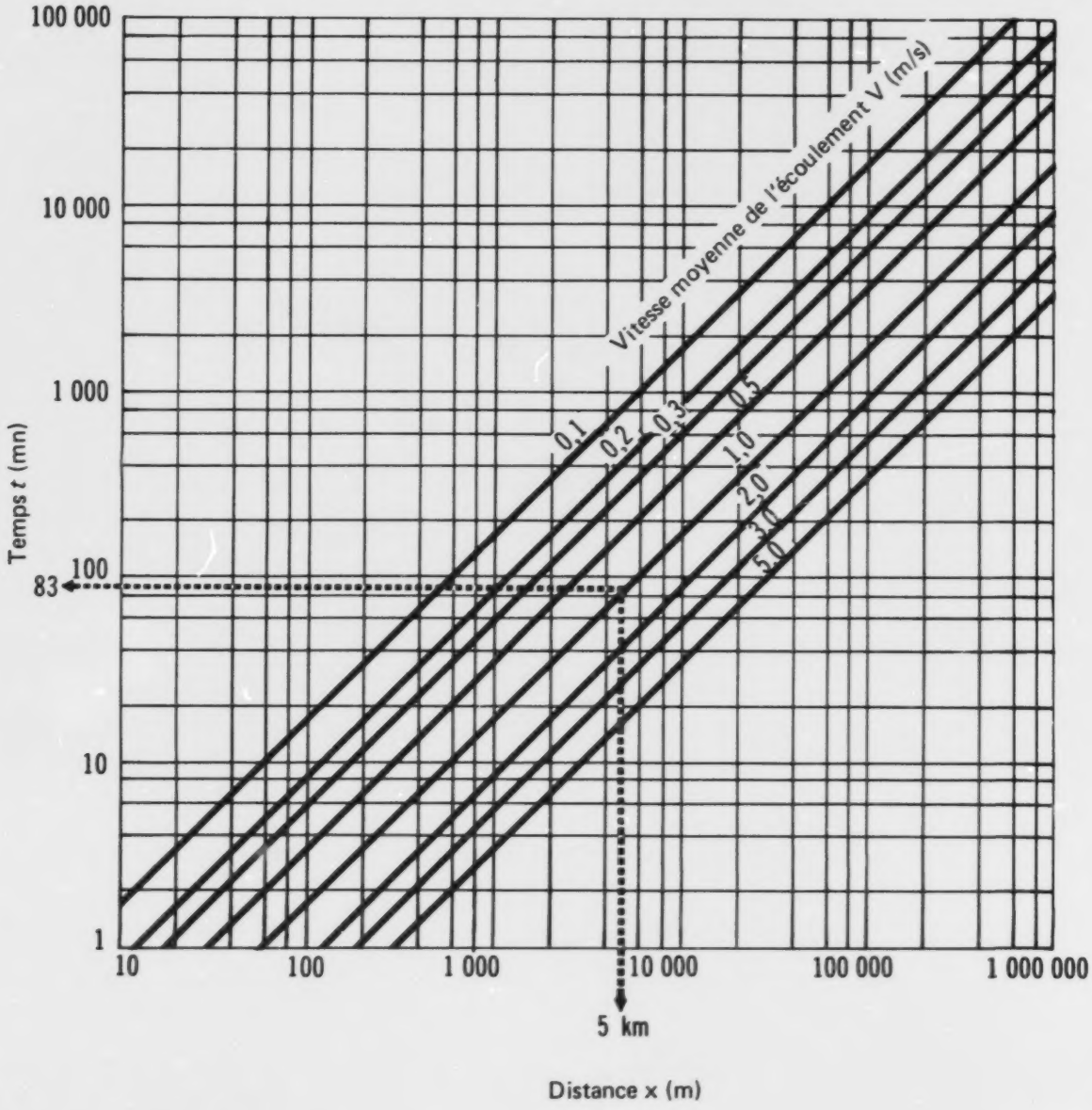
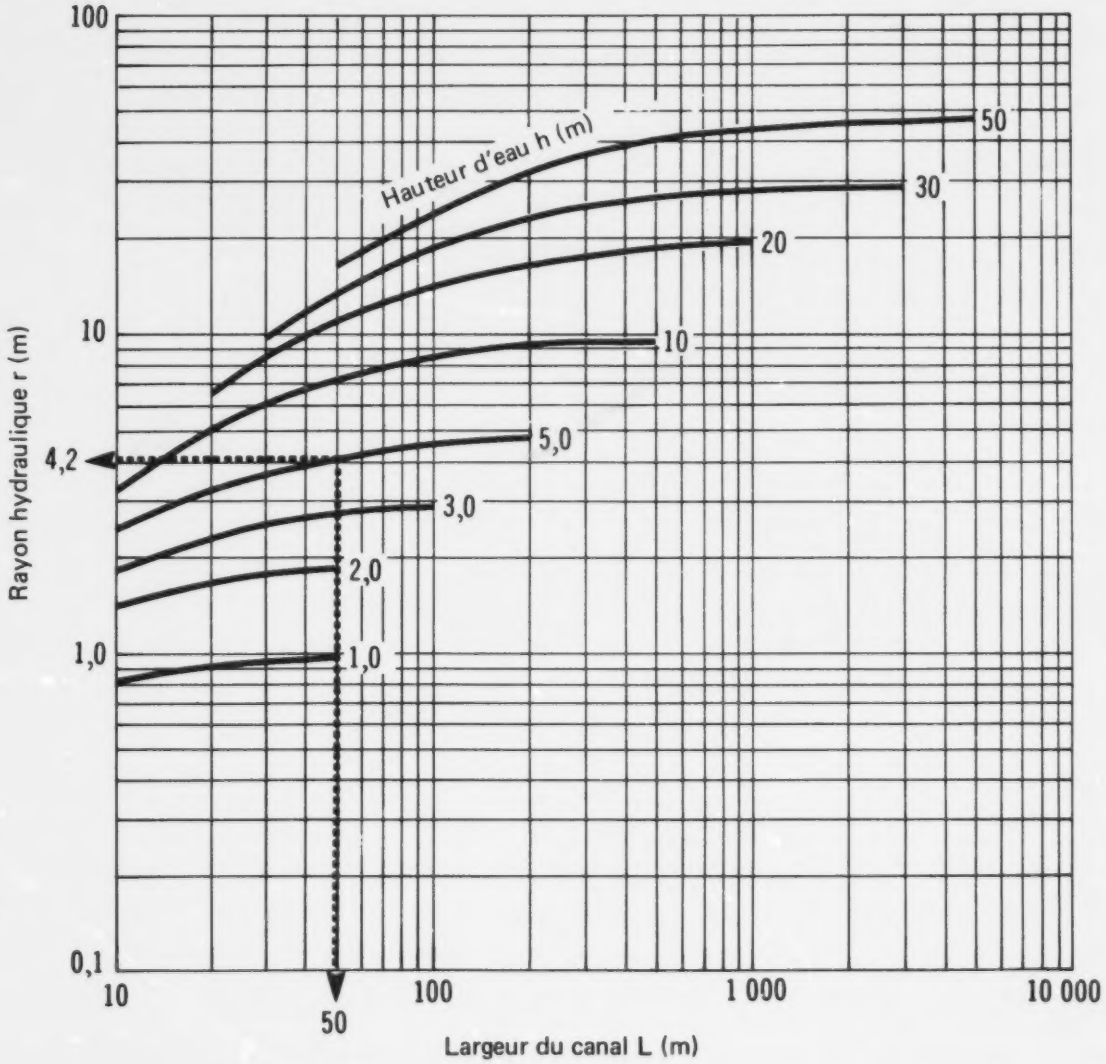


Figure 24

ANHYDRIDE SULFUREUX

RAYON HYDRAULIQUE
EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL



rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillée B. La figure 24 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 25 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. - Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 26 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. - Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps *t* requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

Figure 27 Delta en fonction d'alpha. - Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta en fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 28 Teneur maximale en fonction de delta. - Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides solubles dans l'eau; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 29 Volume d'eau en fonction du rayon. - L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 29. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 30 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. - Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de corps dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. - Vingt tonnes d'anhydride sulfureux ont été déversées dans une rivière. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Figure 25

ANHYDRIDE SULFUREUX

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

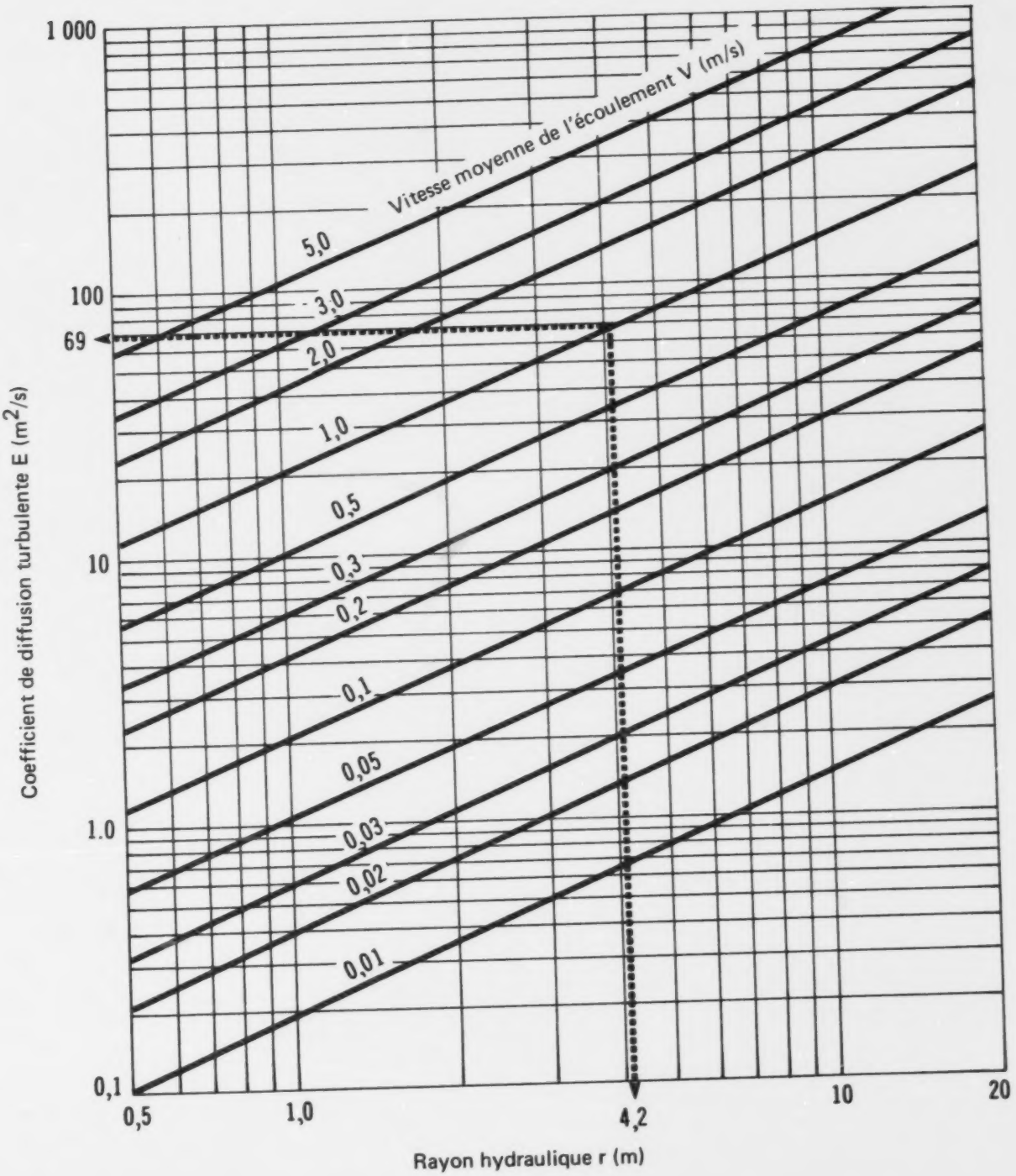


Figure 26

ANHYDRIDE SULFUREUX

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

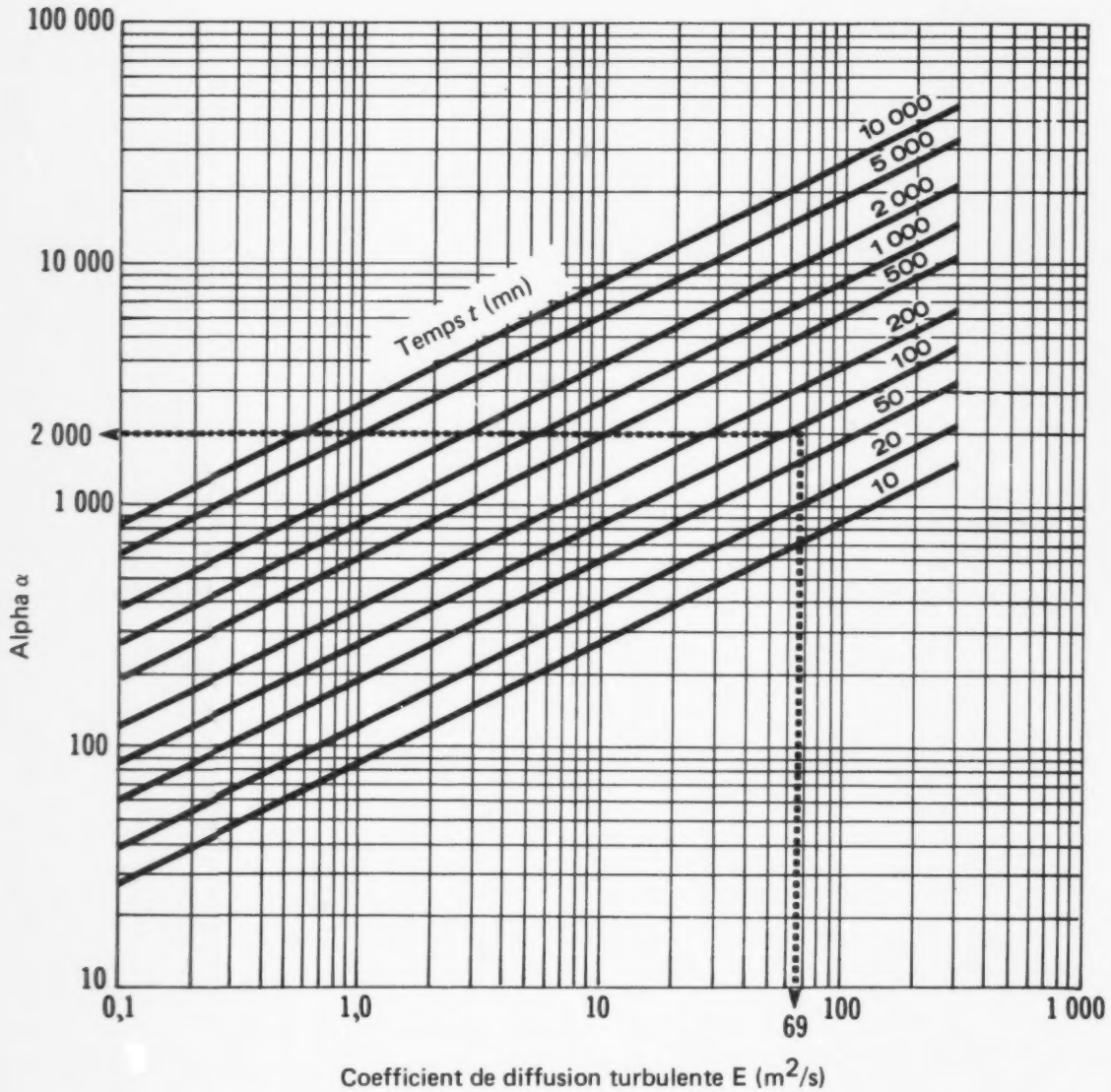


Figure 27

ANHYDRIDE SULFUREUX

DELTA
EN FONCTION D'ALPHA

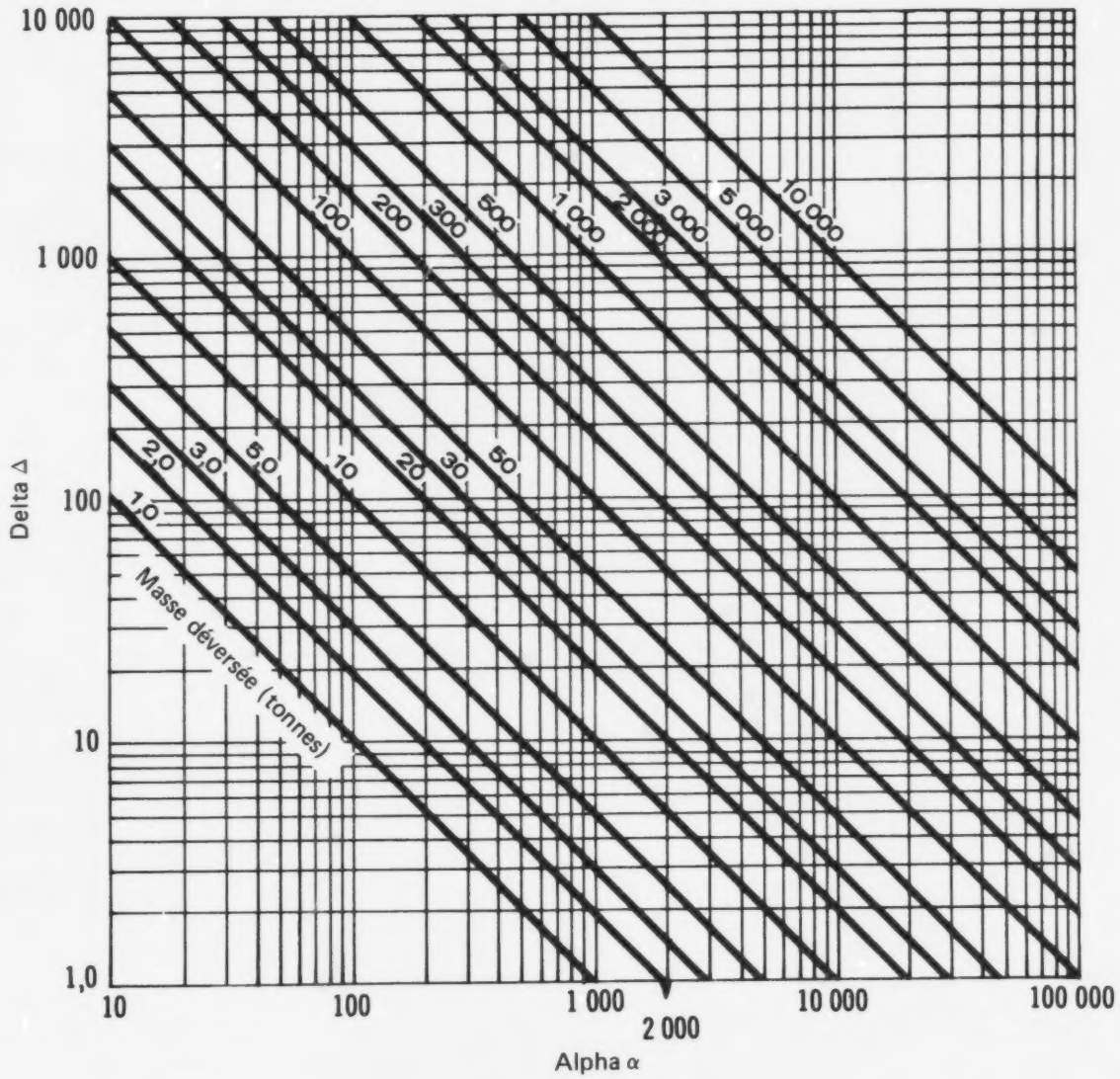


Figure 28

ANHYDRIDE SULFUREUX

TENEUR MAXIMALE
EN FONCTION DE DELTA

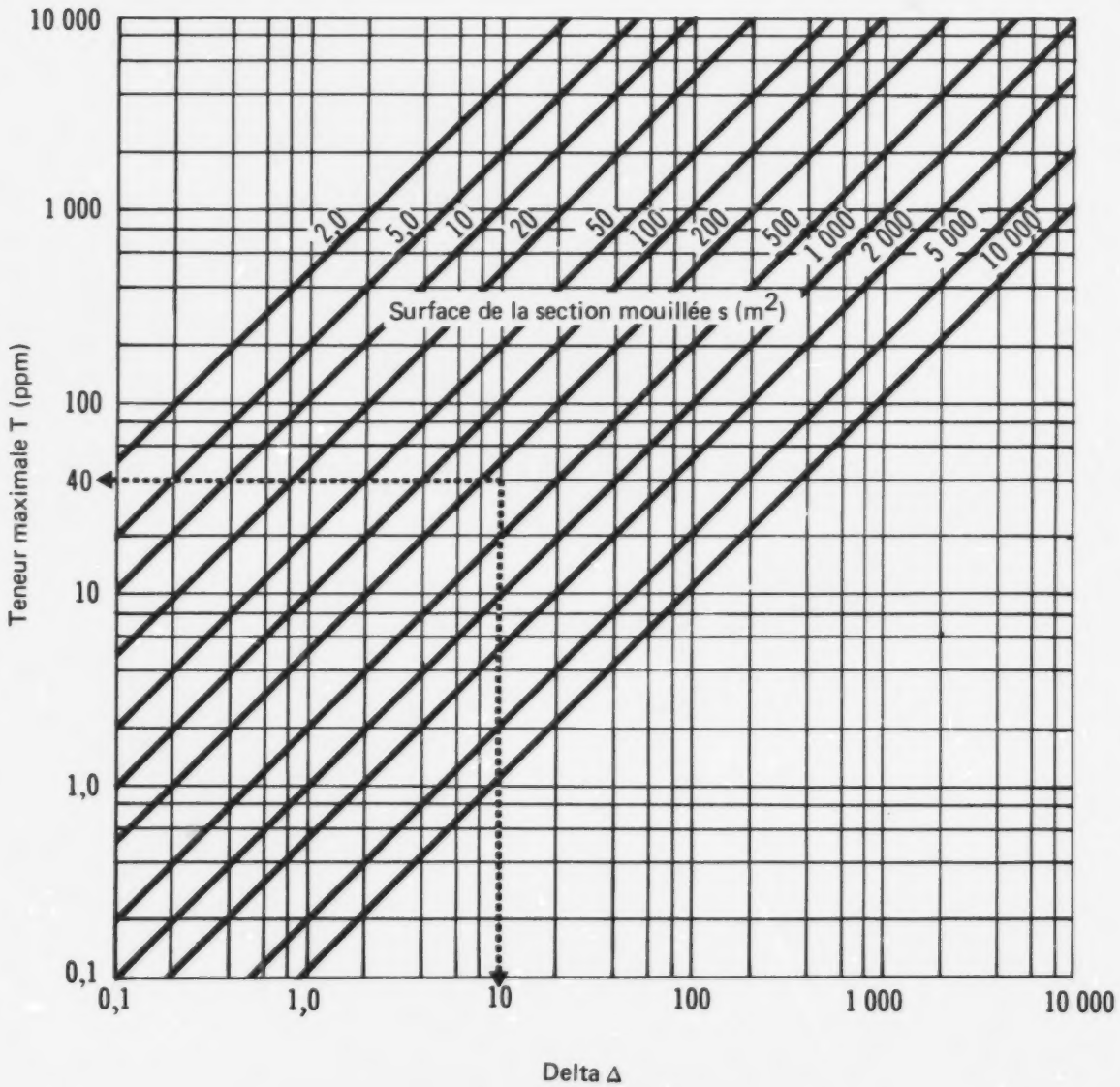


Figure 29

ANHYDRIDE SULFUREUX

VOLUME D'EAU
EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

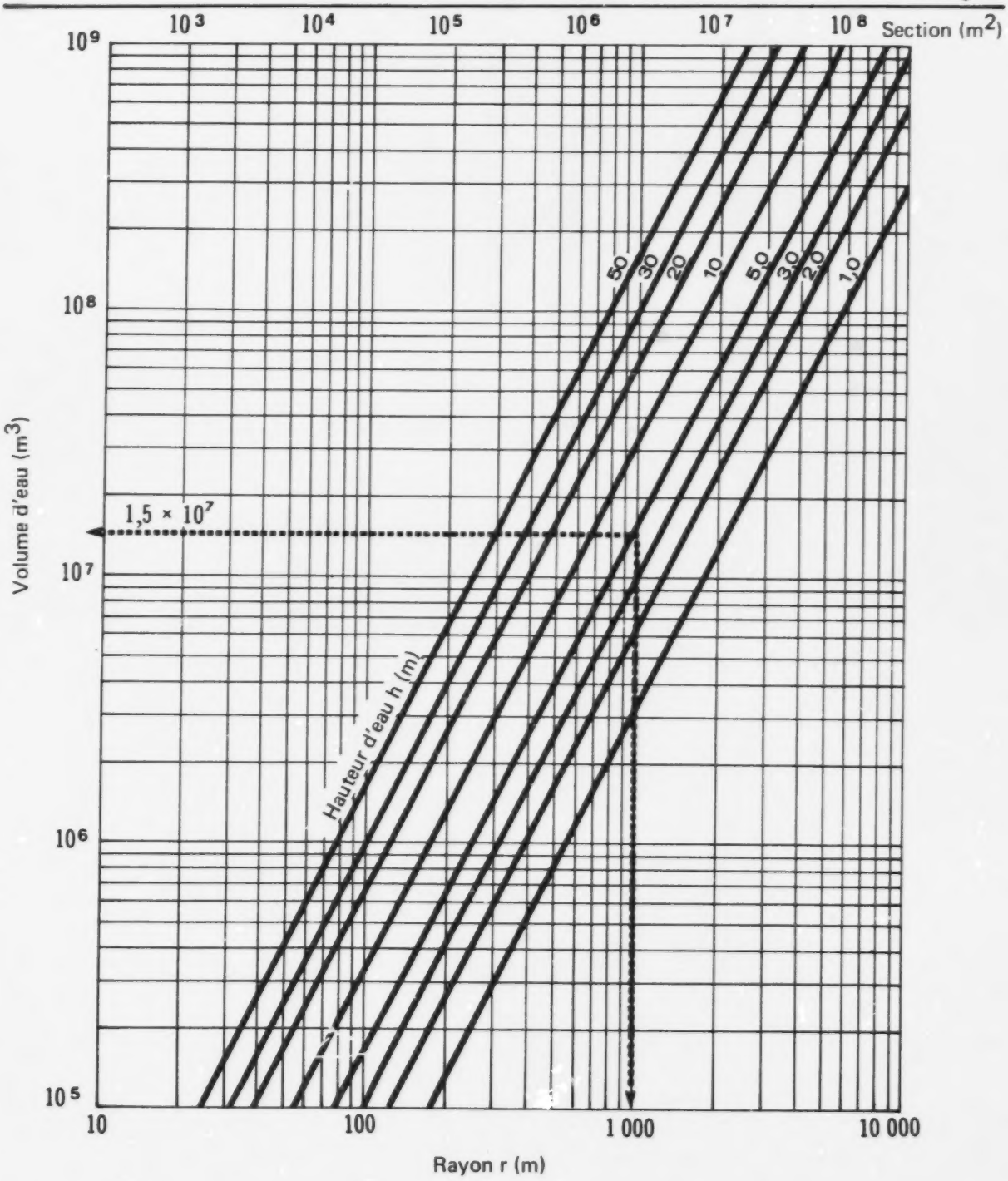
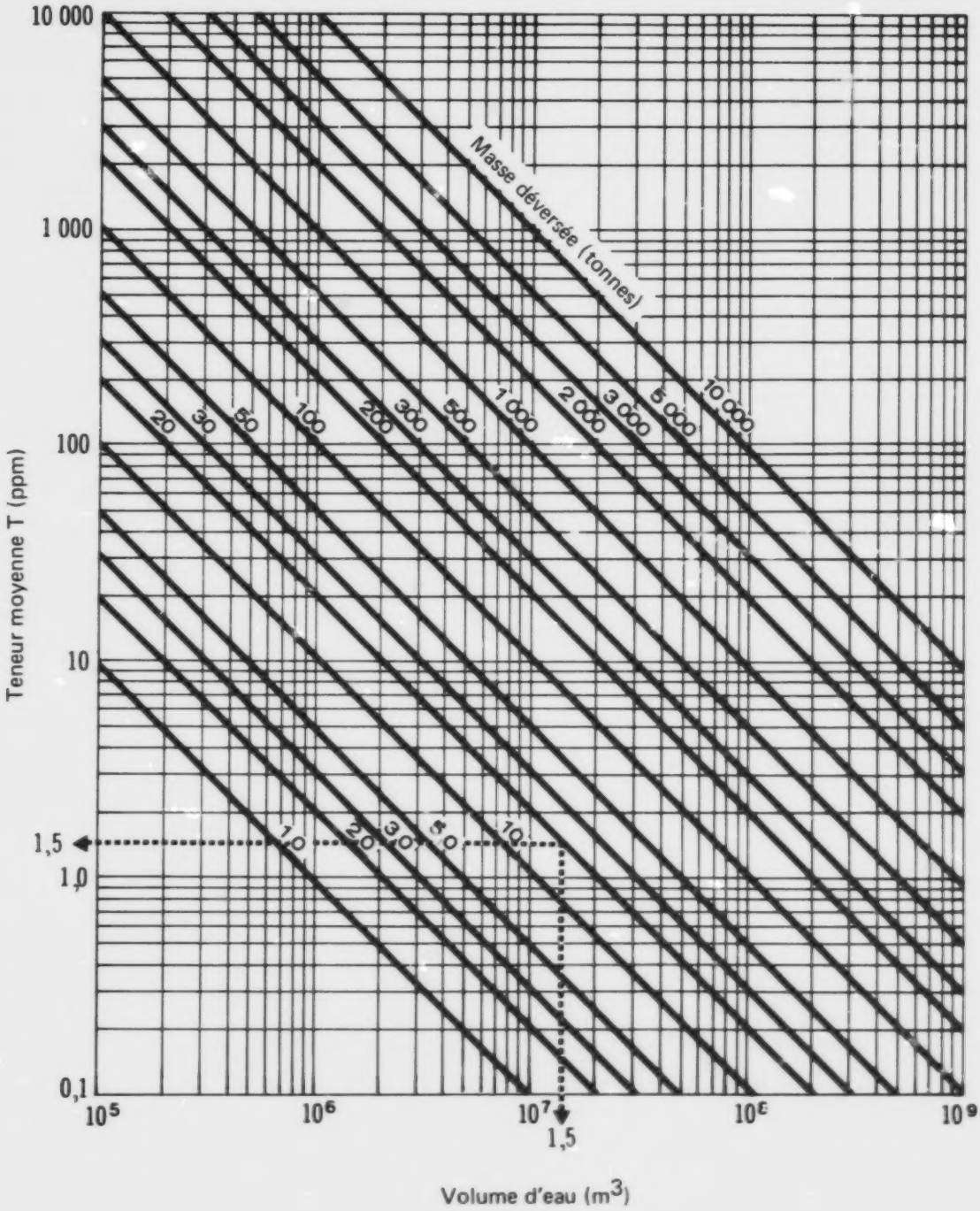


Figure 30

ANHYDRIDE SULFUREUX

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

L = 50 m; h = 5 m; V = 1 m/s.

m = 20 tonnes d'anhydride sulfureux.

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.

Comme x = 5000 m et V = 1 m/s, t = 83 mn (fig. 23).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.

Comme L = 50 m et h = 5 m, r = 4,2 m (fig. 24).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.

Comme r = 4,2 m et V = 1 m/s, E = 69 m^2/s (fig. 25).

Étape 5 Déterminer la valeur d'alpha.

Comme E = 69 m^2/s et t = 83 mn, α = 2000 (fig. 26).

Étape 6 Déterminer la valeur de delta.

Comme α = 2000 et m = 20 tonnes, Δ = 10 (fig. 27).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.

s = L x h = 50 x 5 = 250 m^2.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.

Comme Δ = 10 et s = 250 m^2, T = 40 ppm (fig. 28).

5.4.3.2 Teneur en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. - Vingt tonnes d'anhydride sulfureux ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

h = 5 m; r = 1000 m; m = 20 tonnes.

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.

Comme r = 1000 m et h = 5 m, vol. = 1,5 x 10^7 m^3 environ (fig. 29).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.

Comme vol. = 1,5 x 10^7 m^3 et m = 20 tonnes, T = 1,5 ppm (fig. 30).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. - Les lois de la migration des fluides dans le sol, ainsi que leur application dans le cadre de la collection "Enviroguide", sont exposées dans le manuel d'introduction de la collection. Les éléments dont il faut tenir compte dans le cas du déversement et de la migration de l'anhydride sulfureux sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

À la pression de 1 atm, le point d'ébullition de l'anhydride sulfureux est de -10 °C. Il se produit donc une forte évaporation lorsque l'anhydride sulfureux est déversé sur le sol. Les

pertes par évaporation représentent la plus grande partie du liquide déversé; le reste pénètre dans le sol, où la vitesse d'évaporation est grandement ralentie.

Comme l'anhydride sulfureux est miscible à l'eau, la présence d'eau dans le sol ou une pluie au moment du déversement influent sur la vitesse de migration du produit dans le sol. Les solutions aqueuses ont des viscosités plus grandes et des masses volumiques plus petites que celles de l'anhydride sulfureux liquide. Le mouvement descendant du fluide est alors plus lent, sa tension de vapeur baisse et sa vitesse d'évaporation diminue.

Si le sol est saturé en eau au moment de l'accident, comme cela peut se produire à la suite de précipitations, la solution ruissellera ou formera une mare et s'évaporera.

Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant: il s'agit donc d'un scénario parmi les pires.

Au cours de sa migration, l'anhydride sulfureux peut réagir avec certains matériaux constitutifs du sol. Il peut y avoir évaporation. On suppose néanmoins qu'une proportion considérable du fluide poursuit son mouvement descendant jusqu'à la nappe phréatique. En fait, l'analyse présentée dans les paragraphes qui suivent ne tient compte d'aucun facteur de retardement.

Lorsque le fluide atteint la nappe phréatique, il continue sa migration dans la direction de l'écoulement de l'eau de la nappe. Il forme une poche de solution polluée, au sein de laquelle les phénomènes de diffusion et de dilution contribuent à une certaine baisse de la teneur en polluant (fig. 31).

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. - Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du fluide dans la zone non saturée (à capacité au champ), jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le manuel d'introduction de la collection. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, alors que l'on pose comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. - Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)

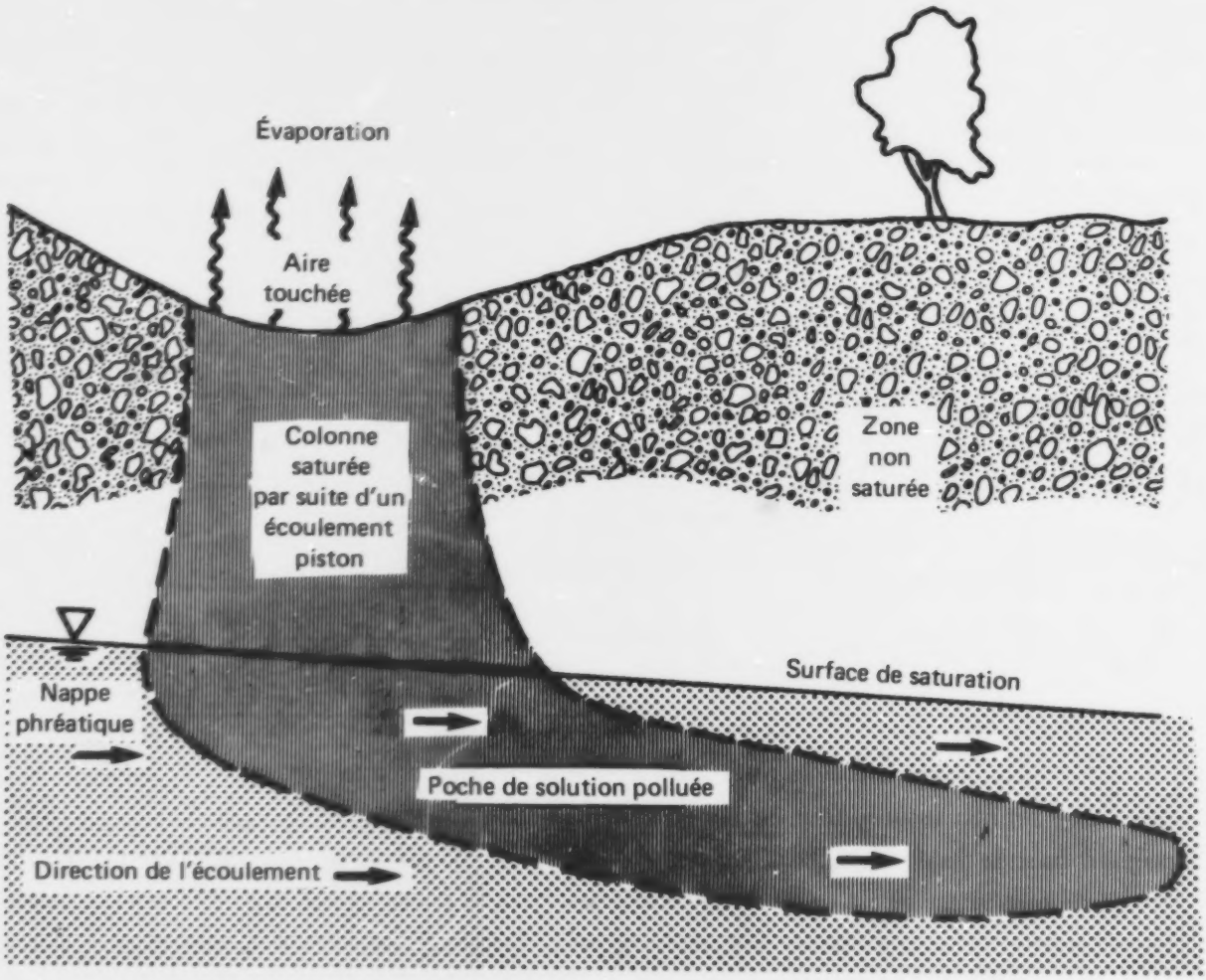
ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)

μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)

g = accélération de la pesanteur = 9,8 m/s^2.

Figure 31

ANHYDRIDE SULFUREUX — MIGRATION DANS LE SOUS-SOL



Sol: sable grossier
Porosité = 0,35
Perméabilité intrinsèque = 10^{-9} m^2
Capacité au champ = 0,075

Dans le cas présent, les fluides migrant sont l'anhydride sulfureux et l'eau. Les valeurs établies pour l'eau correspondent au point extrême de dilution du produit.

Valeurs établies pour les fluides

	Anhydride sulfureux liquide		Eau
Paramètre	20 °C	4 °C	20 °C
Masse volumique (kg/m^3)	1380	1440	998
Viscosité absolue (Pa . s)	$0,3 \times 10^{-3}$	$0,35 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité d'un sol saturé (m/s)	$(4,5 \times 10^{7})k$	$(4,0 \times 10^{7})k$	$(0,98 \times 10^{7})k$

5.5.4 Types de sol. - Le manuel d'introduction de la collection décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les paramètres qui influent sur la migration des fluides.

Valeurs établies pour les sols

Paramètre	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogramme de la migration. - Un nomogramme de la migration du fluide dans la couche de sol non saturée (à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour le sable grossier. Dans les sols plus denses, sable limoneux et till argileux, le temps de migration serait de plusieurs ordres de grandeur plus grand. L'évaporation concomitante ferait qu'il ne subsisterait que peu ou point de polluant susceptible de continuer à migrer en profondeur. Les déversements sur ces sols denses ne devraient donc pas entraîner de pollution des eaux souterraines.

Le nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considérée comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 32 le plan d'utilisation du nomogramme présenté à la figure 33. Les droites illustrant la migration de l'eau indiquent les profondeurs maximales atteintes par celle-ci; elles représentent donc les limites de migration de l'anhydride sulfureux dilué dans l'eau.

Figure 32

ANHYDRIDE SULFUREUX — PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES

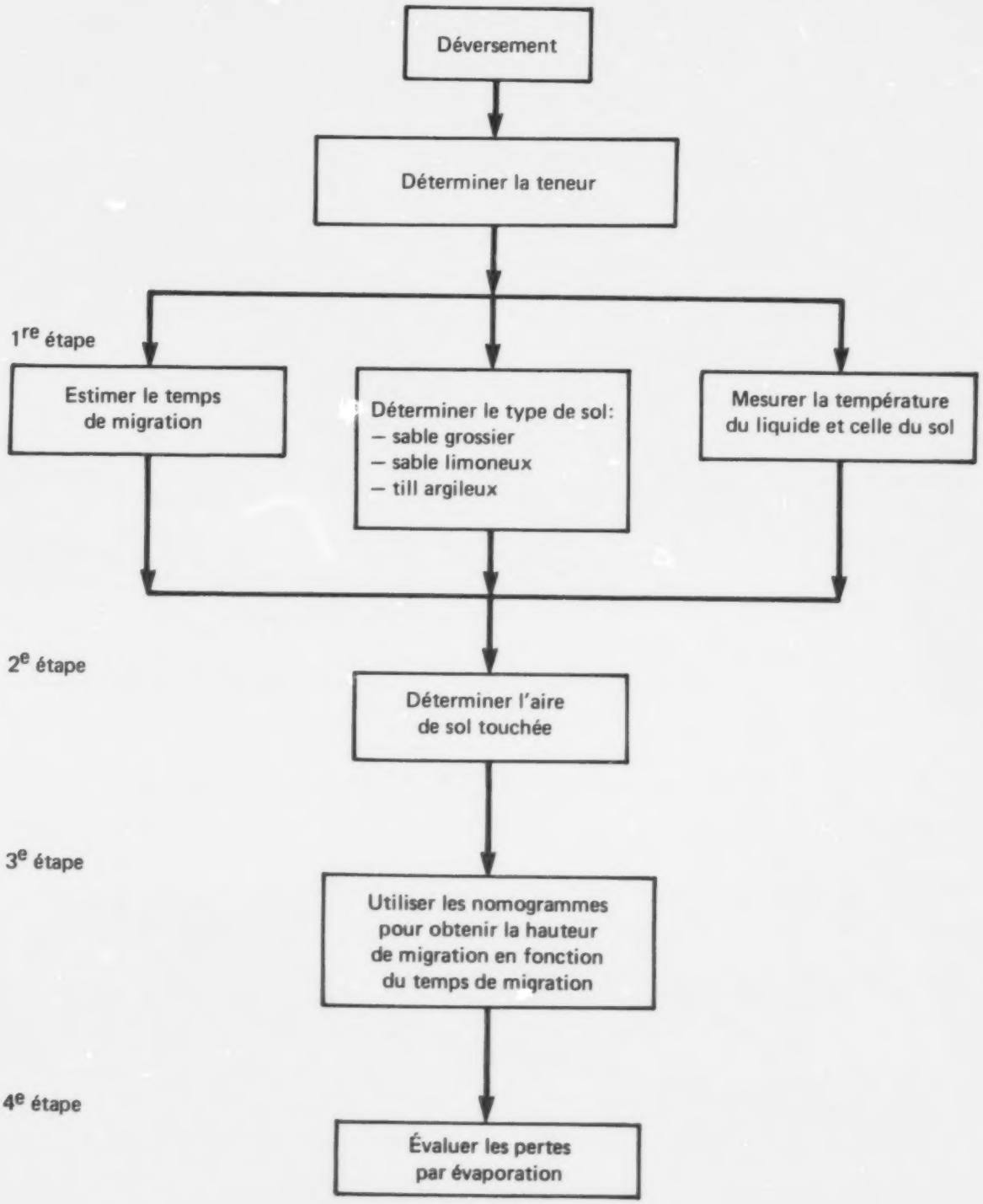
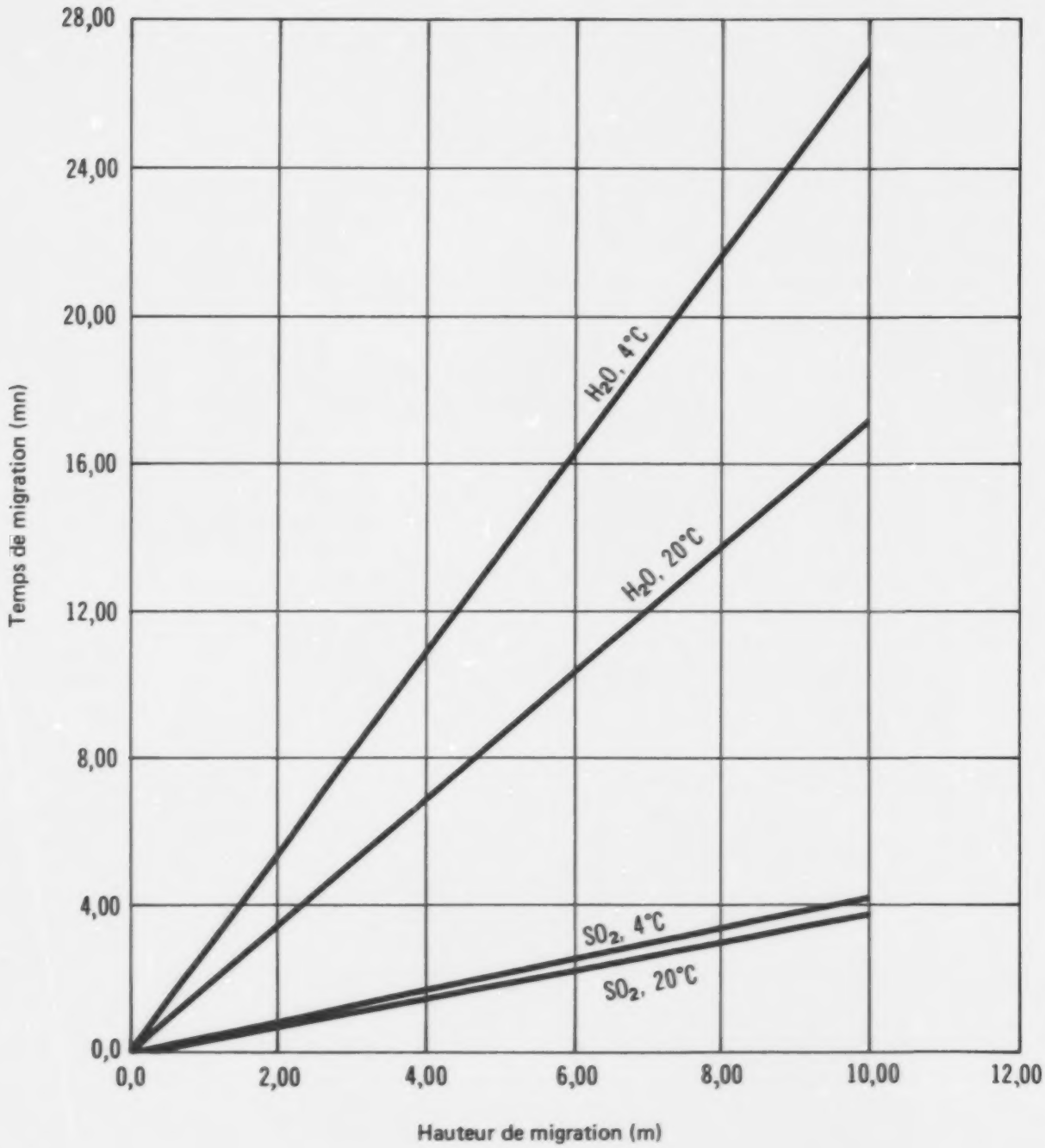


Figure 33

ANHYDRIDE SULFUREUX — MIGRATION DANS UN SABLE GROSSIER



5.5.6 Exemple de calcul. - Vingt tonnes d'anhydride sulfureux se sont répandues sur un sol constitué de sable grossier. L'aire touchée a un rayon de 8,6 m. La température atteint 20 °C. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 20 minutes après le début du déversement.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse de fluide déversée = 20 000 kg (20 tonnes)

Température = 20 °C

Rayon de l'aire touchée = 8,6 m

Type de sol = sable grossier

Profondeur de la surface de saturation = 13 m

Temps écoulé depuis le début du déversement = 20 minutes.

Étape 2 Calculer l'aire touchée par le fluide.

Aire = πr^2 = 232 m^2.

Étape 3 Évaluer la hauteur de migration après 20 minutes.

Hauteur de migration > 10 m

La surface de saturation a pu être atteinte. Dans un tel cas, le taux d'évaporation détermine en partie le degré de pollution.

6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. - Aucune réglementation particulière n'existe.

6.1.2 Qualité de l'air

6.1.2.1 Situation au Canada. - En Ontario, la norme d'émission pour l'anhydride sulfureux impose une teneur limite de 830 mg/m^3 (moyenne sur une demi-heure) (Ontario E.P. Act, 1971). Le tableau ci-dessous indique les autres lignes directrices ou normes établies pour l'anhydride sulfureux.

Normes d'émission et normes de qualité d'air ambiant pour l'anhydride sulfureux

État	Durée (h)	Teneur moyenne (ppm)	Limite (10 °C, 101 kPa) (mg/m^3)	Niveau de qualité	Source
Ontario	1	0,25	690		Ontario E.P. Act, 1981
	24	0,10	275		Ontario E.P. Act, 1981
	1 an	0,02	55		Ontario E.P. Act, 1981
Saskatchewan	1	0,17	450		CECL - Sask., 1980
	24	0,06	150		CECL - Sask., 1980
	1 an	0,01	30		CECL - Sask., 1980
Nouveau-Brunswick	1		99	Teneurs maximales admissibles au sol	CECL - N.-B., 1980
	24		300		CECL - N.-B., 1980
	1 an		60		CECL - N.-B., 1980
Canada	1		0 à 450	À 25 °C	CECL, 1980
	24		0 à 150	Souhaitable	CECL, 1980
	1 an		0 à 30		CECL, 1980
Canada	1		450 à 900	À 25 °C	CECL, 1980
	24		150 à 300	Acceptable	CECL, 1980
	1 an		30 à 60	À 25 °C	CECL, 1980
Canada	Période continue de 24 heures		300 à 800	Tolérable	CECL, 1980
Nouveau-Brunswick	1		500 ppm (vol./vol.)	Teneur maximale admissible dans les conditions d'émission d'une cheminée de fours de récupération	CECL - N.-B., 1980

6.1.2.2 Situation aux USA. - La norme de qualité d'air ambiant pour 24 heures impose une teneur limite moyenne de 0,14 ppm (Goldstein, 1979).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux USA. - L'anhydride sulfureux est toxique pour les poissons (OHM-TADS, 1981). On ne dispose pas d'évaluation provenant du RTECS.

6.2.2 Mesures de la toxicité

Toxicité pour les poissons

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Effet(s)	Conditions	Source
16	1	Crapet-soleil	Létal		Wilber, 1969
5	1	Truite	Létal		WQC, 1963
1	2	Tanche	Létal	Sous forme de HSO_3^-	WQC, 1963
10	0,17	Truite	Immobilisation	Eau du robinet	WQC, 1963

Toxicité pour les micro-organismes

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Effet(s)	Conditions	Source
5,0		Famille de l'euglène (algue)	Augmentation de la teneur en chlorophylle, ralentissement de la photosynthèse		DeKoning, 1970

Toxicité pour les vertébrés

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Effet(s)	Conditions	Source
1 pph	15 mn	Grenouille	Teneur létale minimale (inhalation)		RTECS, 1979

6.2.3 Études sur le milieu aquatique. - L'anhydride sulfureux se dissout facilement dans l'eau pour former de l'acide sulfureux (H_2SO_3). Une étude réalisée par le CNRC en 1977 donne

à penser que ce sont des changements dans la qualité physico-chimique de l'eau (de carbonatée à sulfatée) qui causent en grande partie les dommages au système biologique.

6.3 Toxicité pour les mammifères

Teneur (ppm)	Temps (h)	Espèces	Effet(s)	Source
3000	5 mn	Mammifères	Teneur létale minimale	RTECS, 1979
80 à 160 g	Dose journalière	Bétail	Anoxie provoquée par le gaz	Garner
Fortes doses		Bétail	Mort	Garner
		Cheval	Intoxication; troubles respiratoires et circulatoires	Garner
		Porc	Maladies des yeux et brûlures aux voies respiratoires	Garner
50	30 jours, 6 h/j	Lapin	Mort (inhalation)	Sunshine, 1969
500	4 mn/j, un jour sur deux pendant 2 semaines	Écureuil	Effets nocifs: oedèmes aux poumons, à la trachée et au coeur	Rans, 1979

L'inhalation d'air contenant 65 ppm d'anhydride sulfureux a provoqué une dilatation aiguë de l'estomac, le 9^{e} jour, chez un tiers des animaux mis en expérimentation. Les sujets exposés à une teneur de 100 ppm ont subi des perforations de l'estomac vers le 4^{e} jour (Patty).

6.4 Pollution des sols

La pollution des sols par l'anhydride sulfureux, sur de longues périodes, augmente l'acidité et la teneur des sols en sulfates solubles, réduit la teneur en calcium et en autres bases, ainsi que l'activité des micro-organismes (en particulier des micro-organismes nitrifiants et fixateurs d'azote), augmente la teneur en ions potentiellement toxiques (aluminium, manganèse) et accroît la contribution globale des nutriants et des ions potentiellement dangereux pour les eaux superficielles et souterraines. L'un des dangers les plus graves des rejets d'anhydride sulfureux dans l'atmosphère est l'érosion des sols dû à la destruction de la couverture végétale (CNRC, 1977). L'une des études réalisées sur l'absorption par le sol a montré que le SO_2, même en petite quantité, diminue le pH du sol (Chaudhry, 1982).

6.5 Toxicité pour les végétaux

Beaucoup d'espèces végétales sont sensibles à l'action de l'anhydride sulfureux présent dans l'atmosphère et sont endommagées même à de faibles teneurs en anhydride sulfureux.

Dans le cas des plantes latifoliées, l'action aiguë du gaz sulfureux se manifeste par des lésions internervaires sur les faces supérieure et inférieure des feuilles, le tissu étant très résistant près des nervures. Les feuilles âgées sont les plus sensibles. De fortes teneurs en SO_2 peuvent provoquer une chute prématurée des feuilles (Linzon, 1978). Chez les conifères, l'action phytotoxique aiguë se traduit par une nécrose qui colore rouge-orange vif les bouts des aiguilles de l'année en cours. On peut également observer un retard de croissance des aiguilles et de fortes attaques peuvent faire brunir les aiguilles et les faire tomber (Loman, 1972; Gerhold, 1979). Sur les feuillus, le SO_2 provoque des dommages allant d'une chlorose légère (décoloration) jusqu'à une nécrose presque totale des nervures. Les premiers symptômes de l'intoxication sont l'apparition de zones gonflées d'eau sur la face inférieure des feuilles et une légère nécrose (Malhotra, 1980). Les plantes avasculaires, comme les lichens et les bryophytes, sont les plus sensibles parce qu'il y a absorption sur toute la cuticule (CNRC, 1977; Peterson, 1977).

6.5.1 Mesures de l'action novice. - Dans le cas de l'anhydride sulfureux, le seuil d'action nocive aiguë correspond au seuil d'apparition de lésions aiguës et les dommages sont surtout des lésions locales.

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèces	Effet(s)	Conditions	Source
			A. - ARBRES		
0,05	24 j	Hêtre (*Fagus* sp.)	Dommage		Linzon, 1978
0,07	72	Pin blanc (*Pinus* sp.)	Dommage		Linzon, 1978
0,25	1	Pin blanc (*Pinus strobus*)	Lésions foliaires		Linzon, 1978
0,25	2	Pins d'espèces diverses (Pin blanc, Pin gris, Loblolly, etc.)	Lésions foliaires		Linzon, 1978
0,03	1	Espèces fragiles de pins	Seuil d'action nocive		Linzon, 1978
0,1		Pin blanc (*Pinus*)	Dommage causé aux clones sensibles		Felske, 1980
0,017		Pin blanc (*Pinus*)	Une exposition continue ralentit la croissance		Felske, 1980

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèces	Effet(s)	Conditions	Source
1,0	1/2	Pin rouge (*Pinus resinosa*)	Réduction de la chlorophylle dans les cotylédons		Linzon, 1978
0,5	2	Pin rouge (*Pinus resinosa*)	Réduction de la chlorophylle dans les cotylédons et diminution du poids des aiguilles primaires		Linzon, 1978
0,5	31 à 60 j	Pin sylvestre (*Pinus sylvestria*)	Diminution de la photosynthèse		Linzon, 1978
0,14	12	Pin de l'Orégon (*Pseudotsuga taxifolia*)	Seuil d'action nocive		Linzon, 1978
0,35	3	Tremble (*Populus tremuloïdes*)	Action aiguë		Linzon, 1978
0,03	4	Peuplier (*Populus*)	Effets sur l'allongement des tubes polliniques		Linzon, 1978
0,54	3	Cormier (*Sorbus* sp.)	Seuil d'action nocive		Linzon, 1978
2,0	2	Orme chinois (*Ulmus parvifolia*)	Seuil d'action nocive		Linzon, 1978
0,30	8	Mélèze de l'Ouest (*Larix occidentalis*)	Seuil d'action nocive		Linzon, 1978
0,95	1	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë		Dreisinger, 1970
0,55	2	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë		Dreisinger, 1970
0,35	4	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë		Dreisinger, 1970
0,25	8	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë		Dreisinger, 1970
0,70	1	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë pour les espèces très sensibles		Dreisinger, 1970

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèces	Effet(s)	Conditions	Source
0,40	2	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë pour les espèces très sensibles		Dreisinger, 1970
0,26	4	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë pour les espèces très sensibles		Dreisinger, 1970
0,18	8	Arbres forestiers	Seuil d'action nocive aiguë pour les espèces très sensibles		Dreisinger, 1970
		B. - PLANTES CULTIVÉES, FLEURS ET AUTRES VARIÉTÉS			
0,2		Luzerne (*Medicago sativa*)	Aucun dommage visible		Felske, 1980
0,25	1	Luzerne (*Medicago sativa*)	Diminution de 2 % de l'assimilation d'anhydride carbonique		Linzon, 1978
0,50	1	Luzerne (*Medicago sativa*)	Diminution de 21 % de l'assimilation d'anhydride carbonique		Linzon, 1978
0,70	1	Haricot	Diminution de la synthèse des protéines		Linzon, 1978
0,25	1	Bégonia	Dommage	Atmosphère humide	Linzon, 1978
0,25	4	Brocoli	Seuil d'action nocive		Linzon, 1978
0,07	14 j	Orge (*Hordeum vulgare*)	Dommage		Linzon, 1978
0,66	1	Sarrasin (*Fagopyrum esculentum*)	Dommage		Linzon, 1978
2,5	3	Chrysanthème	Seuil d'action nocive		Linzon, 1978

Teneur (ppm)	Durée (h)	Espèces	Effet(s)	Conditions	Source
0,20	2	Pâturin des prés (*Poa pratensis*)	Dommage modéré à grave		Linzon, 1978
0,71	1	Lys	Inhibition de 55 % de l'allongement des tubes polliniques		Linzon, 1978
0,04		Pois (*Pisum sativum*)	Dégâts de 10 % aux cultures		Felske, 1980
0,05 à 0,12	4 à 8	Arachides (*Arachis hypogaea*)	Dommage		Linzon, 1978
0,067	26 sem.	Ivraie de Perse (*Lolium* sp.)	Diminution de 52 % du rendement		Linzon, 1978
2	4	Soja (*Glycine max*)	Altérations nécrotiques		Amundson, 1981
0,1	Exposition continue	Soja (*Glycine max*)	Diminution de 12 % du rendement		Amundson, 1981
0,12 à 0,36	4 h/j plusieurs jours	Soja (*Glycine max*)	Dommage grave		Heggestad, 1980
2,0	4	Mauvaises herbes	Dommage		Linzon, 1978
			C. - LICHENS		
0,012			Lichens en général	Seuil de nocivité	Felske, 1980
0,83	9,1	24	***Cladina alpestris***	Diminution de la teneur en chlorophylle *a*	Laurentian, 1975
3	18	6	***Cladina alpestris***	Diminution de la teneur en chlorophylle *a*	Laurentian, 1975
7		3	***Cladina alpestris***	Diminution de la teneur en chlorophylle *a*	Laurentian, 1975

Teneur de l'air (ppm)	Teneur de l'eau (ppm)	Durée (h)	Espèce(s)	Effet(s)	Source
0,57	7,2	1	*Cladina alpestris*	Diminution de l'assimilation de carbone-14	Laurentian, 1975
2,45	16,5	1/6	*Cladina alpestris*	Diminution de l'assimilation de carbone-14	Laurentian, 1975
0,75	8,5	3	*Cladina rangiferina*	Effet sur la teneur en potassium	Laurentian, 1975
	6,2	1/6	*Cladina rangiferina*	Effet sur la teneur en potassium	Laurentian, 1975
5,7		1/6	*Cladina rangiferina*	Fixation normale du gaz carbonique	Laurentian, 1975
1,4		1	*Cladina rangiferina*	Fixation normale du gaz carbonique	Laurentian, 1975
5,7		1	*Cladina rangiferina*	Fixation du gaz carbonique perturbée	Laurentian, 1975
2,2		3	*Cladina rangiferina*	Pigments intacts	Laurentian, 1975
0,9		9	*Cladina rangiferina*	Pigments intacts	Laurentian, 1975
9,9		3	*Cladina rangiferina*	Modification des pigments	Laurentian, 1975
3,2		6	*Cladina rangiferina*	Modification des pigments	Laurentian, 1975
2,2		24	*Cladina rangiferina*	Modification des pigments	Laurentian, 1975
	35	3	*Umbilicaria muhlenbergii*	Diminution de 22 % de la teneur en potassium	Laurentian, 1975

Teneur de l'air (ppm)	Teneur de l'eau (ppm)	Durée (h)	Espèce(s)	Effet(s)	Source
	75	3	*Umbilicaria muhlenbergii*	Diminution de 22 % de la teneur en potassium	Laurentian, 1975
	125	1/4	*Umbilicaria muhlenbergii*	Diminution de 22 % de la teneur en potassium	Laurentian, 1975

6.5.2 Sensibilité relative des arbres. - Le lecteur trouvera ci-dessous une échelle de sensibilité des arbres au SO_2 (Linzon, 1978; Malhotra, 1980; Davis, 1976). Les teneurs indiquées constituent des seuils de nocivité.

TRÈS SENSIBLE (0,5 à 1,0 ppm, 1 h; 0,3 à 0,6 ppm, 3 h)

Sapin de l'Ouest (*Abies lasiocarpa*)
Saule noir (*Salix nigra*)
Orme chinois (*Ulmus parvifolia*)
Sapin de l'Orégon (*Pseudotsuga taxifolia*)
Pin blanc (*Pinus strobus*)
Aulne vert d'Amérique (*Alnus crispa*)
Pin gris (*Pinus Banksiana*)
Grand tremble (*Populus grandidentata*)
Peuplier de Lombardie (*Populus nigra italica*)
Érable du Manitoba (*Acer negundo*)
Amélanchier (*Amelanchier alnifolia*)
Sumac (*Rhus* sp.)
Mélèze d'Amérique (*Larix laricina*)
Tremble (*Populus tremuloïdes*)
Mélèze de l'Ouest (*Larix occidentalis*)
Pin ponderosa (*Pinus ponderosa*)
Frêne blanc (*Fraxinus americana*)
Bouleau blanc (*Betula popyrifera*)

SENSIBLE (1,0 à 2,0 ppm, 1 h; 0,6 à 0,8 ppm, 3 h)

Orme d'Amérique (*Ulmus americana*)
Pin d'Autriche (*Pinus nigra*)
Sapin baumier (*Abies balsamea*)
Peuplier baumier (*Populus balsamifera*)
Bois blanc (*Tilia* sp.)
Catalpa (*Catalpa* sp.)
Cerisier (*Prunus* sp.)
Cerisier à grappes (*Prunus virginiana*)
Hart rouge (*Cornus* sp.)
Caroubier (*Robinia pseudoacacia*)
Pin lodgepole (*Pinus contorta*)
Érable (*Acer* sp.)
Érable nain (*Acer spicatum*)
Pin ponderosa (*Pinus ponderosa*)
Érable rouge (*Acer rubrum*)
Pin rouge (*Pinus resinosa*)
Pruche de l'Ouest (*Tsuga heterophylla*)
Pin blanc de l'Ouest (*Pinus monticola*)

Cotonnier (*Populus* sp.)
Orme (*Ulmus* sp.)
Épinette d'Engelmann (*Picea engelmannii*)
Lilas commun (*Syrina* sp.)

Orme blanc (*Ulmus americana*)
Chêne blanc (*Quercus* alba)
Saule (*Salix* sp.)
Hamamélis de Virginie (*Hamamelis virginiana*)

RÉSISTANT (> 2 ppm, 1 h; > 0,8 ppm, 3 h)

Épinette noire (*Picea mariana*)
Épinette du Colorado (*Picea pungens*)
Peuplier de Caroline (*Populus canadensis*)
Sapin de Vancouver (*Abies grandis*)
Genévrier (*Juniperus* sp.)
Tilleul (*Tilia* sp.)
Tilleul à petites feuilles (*Tilia cordata*)

Platane anglais (*Platanus acerifolia*)
Chêne rouge (*Quercus rubra*)
Érable argenté (*Acer sacchorinum*)
Érable à sucre (*Acer saccharum*)
Cèdre de l'Ouest (*Thuja plicata*)
Cèdre blanc (*Thuja* sp.)
Épinette blanche (*Picea glauca*)

6.5.3 Études sur les végétaux. - Une des études a montré que les végétaux puisent une grande partie du soufre dont ils ont besoin dans le SO_2 atmosphérique. Une série d'essais (Noggle, 1980) a permis d'observer que le coton tirait de 10 à 44 p. 100 de son soufre du SO_2 atmosphérique; le soja, de 10 à 51 p. 100; et le seigle, 34 p. 100. L'étude de la solubilité et de ses effets a permis de déduire que c'est le SO_2 dissout, mais qui n'a pas réagi, qui est le plus actif à provoquer des lésions chez les végétaux (Hocking, 1977).

On a pu observer une diminution de la diversité des lichens au voisinage d'une usine de gaz (Case, 1980) et l'on a pu noter une faible adaptation à des teneurs plus élevées en SO_2 (Horseman, 1977). Soumis à une fumigation les exposant à une teneur de 0,2 ppm, des amélanchiers (*Amelanchier alnifolia*) ont souffert de déficiences en sélénium et développé une moindre résistance aux maladies reliées à une telle déficience (Shaw, 1980). On a observé les mêmes baisses de la teneur en sélénium au cours d'expériences analogues à 0,2 ppm et 0,1 ppm sur l'amélanchier et le Fétuque rouge (*Festuca rubra*) (Shaw, 1982).

6.6 Études sur les effets toxiques

La toxicité principale du gaz sulfureux est celle qui s'exerce sur les végétaux et les autres êtres vivants. Sa toxicité secondaire s'exerce sur le sol, où il retombe et où il est absorbé, ce qui modifie le milieu de croissance et se répercute sur la microflore et la microfaune des sols (CNRC, 1971). L'étude des pluies acides et de leurs effets a fait l'objet de nombreux ouvrages (Nriagu, 1978; Shriner, 1980).

6.7 Devenir et effets à long terme

Il ne peut y avoir de bioconcentration de l'anhydride sulfureux (RTECS, 1979). Dans l'atmosphère, l'anhydride sulfureux est converti en SO_3; en présence d'humidité, il est

transformé en acide sulfurique (H_2SO_4). Ces substances finissent par retomber avec les précipitations (CNRC, 1977). Sur une forêt, la retombée de SO_2 atmosphérique est deux à trois fois plus forte que sur une prairie (Shreffler, 1978). Comme il a été mentionné, l'anhydride sulfureux s'oxyde souvent en anhydride sulfurique (SO_3); on estime que la vitesse d'oxydation est de 1 p. 100 à l'heure dans l'air pur et 2 p. 100 à l'heure dans le brouillard (Kockmond, 1976; Cheng, 1971).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

L'anhydride sulfureux est considéré comme une matière toxique et corrosive (Sax, 1981). Même à des teneurs relativement faibles, il irrite fortement les poumons et les muqueuses. Ses principaux effets toxiques sont dus à la formation d'acide sulfureux lorsqu'il entre en contact avec l'eau des fluides organiques (Doc. TLV, 1981). De fortes teneurs en anhydride sulfureux peuvent provoquer une paralysie respiratoire et un oedème pulmonaire. De plus, on estime qu'environ 10 à 20 p. 100 de la population adulte est hypersensible aux effets néfastes de l'anhydride sulfureux sur la fonction pulmonaire (NIOSH/OSHA, 1978); on observe toutefois un effet d'adaptation chez les travailleurs exposés régulièrement au produit. Bien qu'une certaine fatigue olfactive résulte de l'exposition, les vapeurs sont si irritantes que l'on considère leur action comme un bon signal d'alarme (Sax, 1981).

L'anhydride sulfureux peut favoriser la production de carcinomes spinocellulaires en présence d'autres polluants comme le benzo (α) pyrène (NIOSH, 1974). Les auteurs n'ont trouvé aucune donnée sur ses pouvoirs mutagènes ou tératogènes.

L'anhydride sulfureux est un polluant atmosphérique important. Les effets sur la santé des personnes exposées à ce toxique dans une ambiance professionnelle ou dans l'environnement ont fait l'objet de nombreuses études. Comme un grand nombre des études ont des résultats qui concordent ou qui se complètent en ce qui concerne la toxicité de l'anhydride sulfureux, nous avons choisi de n'en citer que quelques-unes qui sont représentatives, en insistant sur les données relatives à l'attaque de l'organisme humain et aux cas signalés récemment. Les données relatives aux animaux sont en général présentées sous forme résumée.

Les données toxicologiques sont extraites de sources fiables et reconnues. Plusieurs analyses de la toxicité de l'anhydride sulfureux ont été faites (Shriner, 1980; Nriagu, 1978). Il faut noter que certaines des données valent pour des expositions prolongées, à faible teneur; il se peut donc qu'elles ne s'appliquent pas intégralement aux situations créées par les déversements. À l'exception des données portant sur la carcinogénicité, seules les données sur la toxicité aiguë pour des mammifères autres que l'homme apparaissent, afin de faciliter l'interprétation des données relatives à l'homme, le cas échéant.

7.1 Normes de qualité d'air ambiant

Les normes de qualité d'air ambiant pour l'anhydride sulfureux sont établies en fonction des effets de ce toxique sur la fonction respiratoire. Les directives des provinces, au Canada, sont semblables à celles qui sont élaborées par l'ACGIH aux États-Unis, sauf indication contraire.

Teneurs maximales admissibles

Norme	Origine	Teneur	Source
	Teneur moyenne pondérée en fonction du temps		
TLV• (8 h)	ACGIH	2 ppm (5 mg/m^3)	TLV, 1983
PEL (8 h)	OSHA	5 ppm (13 mg/m^3)	NIOSH/OSHA, 1978
Seuil de nocivité (8 h)	OSHA	1 ppm	Braker, 1977
PEL (10 h)	NIOSH	0,5 ppm (1,3 mg/m^3)	NIOSH/OSHA, 1978
Teneur admissible (8 h)	C.-B.	5 ppm (13 mg/m^3)	C.-B., 1980
Teneur moyenne (8 h)	Québec	5 ppm (13 mg/m^3)	Québec, 1979
	Teneur pour une exposition de courte durée		
STEL (15 mn)	ACGIH	5 ppm (10 mg/m^3)	TLV, 1983
Teneur maximale admissible (30 à 60 mn)		50 à 100 ppm	Sax, 1981

Autres teneurs limites

Limite	Origine	Teneur	Source
IDLH	NIOSH/OSHA	100 ppm	Guide NIOSH, 1978
EEL (Teneur limite en situation d'urgence)		150 ppm (5 mn) 75 ppm (15 mn) 50 ppm (30 mn) 25 ppm (60 mn)	CNRC, 1977
Teneur létale min. (1 mn)		400 ppm	RTECS, 1979
Teneur toxique min. (1 mn)		4 ppm	RTECS, 1979
Teneur toxique min. (5 j)		3 ppm	RTECS, 1979

Indice de toxicité par inhalation. - L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance de causer un dommage par suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante:

$$\text{I.T.I.} = 1315{,}12\ (\text{pression de vapeur en mm de Hg/TLV•})$$

à 21 °C, $\text{I.T.I.} = 1315{,}12\ (2535\ \text{mm de Hg}/2\ \text{ppm})$

à 21 °C, $\text{I.T.I.} = 1{,}66 \times 10^6$.

7.2 Données sur l'action irritante

7.2.1 Contact avec la peau. - Le tableau ci-dessous indique les effets d'irritation dus à un contact avec la peau. À noter que l'anhydride sulfureux peut également provoquer des lésions cutanées résultant d'un mécanisme systémique (ces effets sont signalés en 7.4.3).

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Forte irritation des muqueuses et de la peau, due au fait que l'anhydride sulfureux forme rapidement de l'acide sulfureux lorsqu'il entre en contact avec les membranes humides.	NIOSH/OSHA, 1978
Non précisée (SO_2 liquide)	Brûlures graves résultant de l'évaporation rapide qui produit un effet de gelure.	LSC, 1980
Non précisée	L'irritation cutanée observée chez des travailleurs exposés au SO_2 est aggravée par la transpiration, qui favorise la formation d'acide sulfureux.	Aleksieva, 1972, dans CNRC, 1977

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
8 à 50 ppm	Larmoiement, picotement, et irritation des yeux.	LSC, 1980
> 20 ppm	Picotement et larmoiement, seuil d'irritation.	GE, 1979; Sax, 1981
Non précisée (SO_2 liquide)	Brûlures graves résultant de l'évaporation rapide qui provoque des "gelures". Peut entraîner une perte de la vue partielle ou complète.	LSC, 1980
Non précisée	L'épithélium cornéen devient gris et irrégulier; gonflement des paupières, thrombose des vaisseaux, iritis.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE LAPIN		
490 ppm (30 h)	Kératite et néphélion.	TDB (on-line), 1981

7.2.3 Irritation de l'appareil respiratoire

Exposition	Effets	Source
Faible teneur	Vive inflammation de l'appareil respiratoire, même à faible teneur.	Coffin, 1976; Gerhold, 1976

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. - L'anhydride sulfureux a une odeur âcre, piquante, comme celle du soufre brûlé. Il émousse l'odorat (AAR, 1981). Valeur du seuil de perception: 941 293 (AAR, 1981).

Seuil	Milieu	Teneur	Source
Perception		0,3 à 1 ppm	Sax, 1981
Identification	Air	0,470 ppm	ASTM, 1980
Perception	Air	1,1 ppm	Amoore, 1983
Perception	Eau	0,11 ppm	Amoore, 1983

7.3.2 Saveur

Limite de perception	Milieu	Teneur	Source
Inférieure	Air	0,3 ppm	Sax, 1981
Supérieure	Air	1,0 ppm	Sax, 1981

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Source
	A. - Toxicité aiguë	
• CHEZ L'HOMME		
400 ppm (1 mn)	Teneur létale minimale.	RTECS, 1979
150 ppm	Insupportable après quelques minutes, en raison de l'irritation des yeux et des effets produits sur les membranes du nez, de la gorge et des poumons.	Braker, 1977

Exposition	Effets	Source
1 à 25 ppm (7 à 8 h)	Variations considérables des débits mucociliaires à 5 et 25 ppm. Pas de variation des volumes de fermeture.	Anderson et coll., 1974, dans CNRC, 1977
5 et 13 ppm	Premiers symptômes de toux et d'irritation à 5 et 13 ppm, diminuant après 5 minutes d'exposition.	NIOSH/OSHA, 1978
1, 5 et 13 ppm	La respiration par la bouche à 13 ppm cause une augmentation de 73 % de la résistance vasculaire pulmonaire; augmentation de 40 %, à 5 ppm; aucun effet à 1 ppm.	NIOSH/OSHA, 1978
8 à 12 ppm	Irritation de la gorge, toux, contraction de la poitrine, larmoiement et picotement des yeux.	Braker, 1977
4 ppm (1 mn)	Teneur toxique minimale.	RTECS, 1979
500 $\mu g/m^3$ en moyenne par jour	Mortalité élevée et nombreuses hospitalisations.	OMS, 1972, dans CNRC, 1977
250 à 500 $\mu g/m^3$ en moyenne par jour	Aggravation de l'état des patients atteints d'affections pulmonaires.	OMS, 1971, dans CNRC, 1977
Non précisée (15 mn) (dans un espace réduit)	Inflammation des yeux, nausées, vomissements et douleurs abdominales, angine. Bronchite après un certain temps; un décès sur 13 personnes exposées.	Hamilton et Hardy, 1974, dans CNRC, 1977
• CHEZ LE LAPIN		
198 à 200 ppm	Ralentissement des mouvements ciliaires dans la trachée, *in vivo*.	TDB (on-line), 1981
• CHEZ LE RAT		
1000 ppm	Teneur létale minimale.	AAR, 1981
50 à 300 ppm (72 h)	La dose la plus forte endommage considérablement l'épithélium et détruit presque totalement les cellules caliciformes.	Doull, 1980
• CHEZ LA SOURIS		
6000 ppm (5 h)	Teneur létale minimale.	AAR, 1981
	B. - Toxicité chronique	
• CHEZ L'HOMME		
2 à 36 ppm	Symptômes respiratoires plus fréquents, toux, dyspnée pendant l'effort et l'expectoration; diminution considérable du débit expiratoire maximal par rapport	Skalpe, 1964, dans CNRC, 1977

Exposition	Effets	Source
	à celui du groupe témoin. Les différences sont plus frappantes chez les travailleurs de moins de 50 ans.	
20 à 30 ppm (3,8 à 12 ans)	Le groupe exposé montre un accroissement de nasopharyngites, une modification du goût et de l'odorat, une dyspnée plus prononcée pendant l'effort et des rhumes qui se prolongent.	Kehoe et coll., 1932, dans CNCR, 1977
10 ppm (expositions répétées)	Irritation des voies respiratoires supérieures et quelques saignements de nez. Pas de symptôme à 5 ppm.	NIOSH/OSHA, 1978
3 ppm (5 j)	Teneur toxique minimale.	RTECS, 1979
100 $\mu g/m^3$ (moyenne arithmétique annuelle)	Symptômes respiratoires.	CNRC, 1977
Non précisée	Effets reliés à la bronchite et à l'accroissement de la mortalité.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	Inhibition de la fonction thyroïdienne et troubles de la menstruation chez les femmes.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	Pneumosclérose accompagnée d'emphysème. Troubles du système nerveux. Caries dentaires, troubles alvéolo-dentaires et des gencives. Destruction rapide et douloureuse des dents, perte des plombages, sensibilité accrue des dents aux variations de température.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	Une comparaison entre deux populations d'enfants (10 000, de 1 à 12 ans) vivant dans des régions différentes, l'une à teneur élevée en SO_2 ambiant et l'autre à faible teneur en SO_2, a permis d'observer un accroissement considérable des maladies des voies respiratoires inférieures dans la région à forte teneur en SO_2.	Hammer, 1977
Non précisée	Les sels solubles de métaux comme le manganèse, le fer et le vanadium favorisent la réaction au seuil d'action du SO_2 lorsqu'ils sont présents à des teneurs de 1 mg/m^3.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	Asthme bronchial relié à une exposition intermittente pendant une longue période. Prédisposition aux allergies.	Rommanoff, 1939, dans NIOSH, 1974

7.4.2 Ingestion

Exposition	Effets	Source
	Exposition de courte durée (toxicité aiguë)	
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Irritation de l'estomac si le produit est avalé.	TDB (on-line), 1981
Non précisée	Ingestion improbable car l'anhydride sulfureux est gazeux à température ambiante.	GE, 1979
• CHEZ LE BÉTAIL		
80 à 160 g (gaz)	Anorexie. Les doses massives ont été mortelles.	TDB (on-line), 1981

7.4.3 Exposition de la peau (effets généraux)

Exposition	Effets	Source
	Exposition de longue durée (toxicité chronique)	
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Urticaire chez les ouvriers ne portant pas de masque à gaz, mais pas chez ceux qui en portaient. Une exposition expérimentale à 40 ppm pendant une heure a provoqué une nouvelle éruption.	Pirila, 1954, dans NIOSH, 1974

7.4.4 Carcinogénicité

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée (avec arsenic)	Taux de mortalité supérieur à la normale parmi les ouvriers de fonderies exposés à l'arsenic. En cas de cancer de l'appareil respiratoire, le taux de mortalité peut être 8 fois supérieur à celui de la population mâle dans le même état. On a découvert que les effets étaient proportionnels au degré d'exposition. Il était postulé que le SO_2 et d'autres produits chimiques industriels accentuaient l'effet cancérogène de l'arsenic.	Lee et Fraumeni, 1969, dans NIOSH, 1974

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE RAT		
100 ppm de SO_2, (6 h/j, 5 j/sem. suivi de 10 mg/m^3 de benzo (α) pyrène-3,5 ppm de SO_2 (1 h/j, 5 j/sem.) pendant 794 j)	Induction d'épithélioma spino-cellulaire chez des rats ayant subi une exposition à l'inhalation de SO_2 en combinaison avec du benzo (α) pyrène, connu pour son pouvoir cancérogène sur les animaux. Inhalé seul, le SO_2 ne cause pas un épithélioma, ce qui donne à penser qu'il a un effet "promoteur".	Laskin et coll., 1979, dans NIOSH, 1974

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune référence n'est donnée pour les symptômes de nature courante signalés dans la plupart des ouvrages de consultation. Seule la mention des symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle est suivie d'une indication de source.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation des yeux, des muqueuses du nez et de la gorge, ainsi que de la peau
2. Toux
3. Éternuement et larmoiement
4. Rhinorrhée
5. Anosmie (ITII, 1981)
6. Bronchocontraction réflexe (NIOSH, 1974)
7. Résistance vasculaire pulmonaire accrue
8. Asthme bronchial
9. Râles aigus (NIOSH, 1974)
10. Douleurs et rétrécisement thoraciques (TDB (on-line), 1981)
11. Nasopharyngite (ITII, 1981)
12. Trachéite (ITII, 1981)
13. Oedème du larynx (ITII, 1981)
14. Bronchopneumonie chimique (NIOSH, 1974)
15 Oedème pulmonaire (TDB (on-line), 1981)
16. Cyanose
17. Acidose systémique (TDB (on-line), 1981)
18. Asphyxie
19. Mort

7.5.2 Ingestion

1. Irritation de l'estomac (TDB (on-line), 1981)

7.5.3 Contact avec les yeux

1. Irritation
2. Larmoiement
3. Kératite (TDB (on-line), 1981)
4. Iritis (TDB (on-line), 1981)
5. Brûlures
6. Lésions cornéennes
7. Cécité (LSC, 1980)

7.5.4 Contact avec la peau

1. Irritation
2. Urticaire (NIOSH, 1974)
3. Lésions
4. Brûlures (CNRC, 1977)

7.6 Toxicité pour l'homme des produits de décomposition ou de combustion

L'anhydride sulfureux entre en réaction avec l'eau ou avec la vapeur et produit des vapeurs toxiques et corrosives, comme l'acide sulfureux (TDB (on-line), 1981).

7.6.1 Acide sulfureux. - L'acide sulfureux est un liquide incolore, transparent, acide, qui a l'odeur suffocante de l'anhydride sulfureux. Les symptômes d'une intoxication aiguë peuvent inclure l'irritation des muqueuses et une oppression accompagnée d'insuffisance respiratoire. Aucune TLV® n'a été établie pour l'acide sulfureux.

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre l'anhydride sulfureux et divers agents

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
En général														
Eau/vapeur						•								Sax, 1979
Corps														
Acétylure de lithium - ammoniac		•												Bretherick, 1979
Acroléine	•			•										NFPA, 1978
Aluminium		•												NFPA, 1978
Carbure de césium acétylénique											•		Incandescence	NFPA, 1978
Carbure de potassium acétylénique											•		Incandescence	NFPA, 1978
Carbure de rubidium		•											Lorsque chauffé dans les vapeurs du SO_2	NFPA, 1978
Carbure de sodium											•		Incandescence	NFPA, 1978
Chlorate de potassium		•	•										Explosion si le mélange est dans l'éthanol ou l'éther	Bretherick, 1979
Chrome											•		Incandescence	NFPA, 1978
Diaminocarbure de lithium acétylénique		•												NFPA, 1979
Fluor			•											NFPA, 1978
Hydrure de sodium			•											Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Manganèse		•											Brûle lorsque chauffé dans les vapeurs de SO_2	NFPA, 1978
Monoxyde de césium											•		Incandescence	NFPA, 1978
Oxyde d'étain											•		Incandescence lorsque chauffé dans SO_2	NFPA, 1978
Oxyde ferreux											•		Incandescence, 300 °C	NFPA, 1978
Peroxyde de baryum											•		Incandescence	Bretherick, 1979
Potassium		•												Leleu, 1975
Sodium										•				NFPA, 1978
Trifluorure de chlore			•											NFPA, 1978
Zinc-diéthyle			•							•				Bretherick, 1979
Groupes de corps														
Acétylures métalliques		•											Incandescence	Bretherick, 1979
Chlorates		•	•										Formation de peroxyde de chlore dont le point d'éclair est à 60 °C; danger d'explosion	NFPA, 1978
Oxydes métalliques		•											Incandescence pendant le chauffage dans le SO_2 gazeux	Bretherick, 1979

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation d'origine a été respectée pour éviter toute déformation de sens; ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent des divergences entre les sources d'information. En fait, les divergences au sujet de mesures qui s'appliquent à des cas particuliers ne sont qu'apparentes, l'information pouvant être correcte ou non selon la situation. Le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. - L'anhydride sulfureux est un gaz incombustible (NFPA, 1978). Il peut provoquer des incendies ou explosions lorsqu'il entre en contact avec certains métaux en poudre ou avec des métaux alcalins comme le sodium ou le potassium (NIOSH/OSHA, 1978). Les récipients risquent d'exploser sous l'action de la chaleur de l'incendie (US DOT, 1980).

9.1.2 Moyens d'extinction. - Refroidir les récipients menacés par les flammes au moyen d'un jet d'eau pour éviter qu'ils éclatent ou qu'ils explosent (US DOT, 1980; GE, 1979).

Petit feu: poudre sèche ou neige carbonique

Grand feu: eau pulvérisée, brouillard ou mousse

Enlever les récipients de la zone d'incendie, si cela peut être fait sans danger, et se tenir loin des têtes des citernes (US DOT, 1980). Ne pas laisser pénétrer d'eau dans les récipients (Cities, 1979).

9.1.3 Évacuation de la zone dangereuse. - Le présent paragraphe fournit des indications quant à la superficie à évacuer. Ces indications, qui sont tirées des sources bibliographiques consultées, ne sont pas toujours accompagnées, malheureusement, de données relatives à la quantité de polluant déversée, à la teneur en polluant de l'air, aux conditions météorologiques et aux caractéristiques du milieu. Aussi est-il recommandé au lecteur de comparer les chiffres qui apparaissent dans le tableau qui suit aux valeurs qui peuvent être obtenues en utilisant les méthodes de calcul de la zone dangereuse, à la section 5.3, lesquelles tiennent compte des facteurs susmentionnés.

Les distances indiquées ci-après sont établies à partir de l'aire occupée par la nappe, en supposant un vent dominant de 10 à 19 km/h (US DOT, 1978).

Dans le cas d'une explosion, la distance minimale de protection contre la volée d'éclats est de 600 m (dans toutes les directions).

Zone à évacuer en fonction de la superficie de la nappe

Superficie de la nappe	Rayon de la zone à évacuer	Superficie à évacuer, du côté sous le vent, pour une sécurité maximale
20 m^2	65 m (84 pas)	480 m de longueur sur 320 m de largeur
35 m^2	90 m (120 pas)	805 m - 480 m -
55 m^2	115 m (150 pas)	1210 m - 805 m -
75 m^2	135 m (174 pas)	1210 m - 805 m -

9.1.4 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.4.1 Information générale. - Arrêter ou ralentir la fuite du produit, se cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact cutané avec le produit ou toute inhalation de ses vapeurs (GE, 1979).

Les récipients fuyards doivent être transportés à l'air libre, si possible, et déposés de manière que l'orifice se retrouve au-dessus du niveau du liquide et ne laisse ainsi s'échapper le produit qu'à l'état gazeux (Cities, 1979; MCA, 1953). Si possible, transvaser, à débit contrôlé, le contenu du récipient fuyard dans un bassin contenant un volume considérable d'une solution aqueuse à 15 p. 100 de soude ou d'un autre alcali approprié. La boue (ou solution) de sulfite alcalin peut être transportée telle quelle dans une installation d'élimination ou être oxydée en sulfates inertes avec de l'hypochlorite de calcium avant de procéder à l'élimination (GE, 1979).

9.1.4.2 Déversement sur le sol ou dans l'eau. - On tâchera de contenir, au moyen de barrages mécaniques ou chimiques, le liquide déversé, qu'il faut neutraliser avec de la chaux ou du bicarbonate de soude (Pilie, 1975). On peut également traiter le liquide retenu par l'addition d'une solution de soude à l'ammoniac, suivie d'une addition d'hypochlorite de calcium (EPA, 1981). On peut enfin utiliser les produits absorbants suivants (Bauer, 1975): charbon actif et Amberlite IRA 400.

9.1.5 Élimination du polluant. - Ne jamais déverser directement des déchets d'anhydride sulfureux (lequel risque de se transformer en acide sulfurique) dans les égouts ou les eaux superficielles. Après le traitement, soit à l'endroit où s'est produit le déversement, soit dans une installation de traitement des déchets, les boues doivent être transportées dans une décharge sécuritaire.

9.1.6 Appareils et vêtements de protection. - Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés chimiques ne sont connus, il faut revêtir un scaphandre résistant aux agents chimiques et porter un appareil respiratoire isolant autonome. S'il s'avère que le produit déversé est de l'anhydride sulfureux:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements étanches, des gants en caoutchouc, des visières (écrans faciaux, d'au moins 20 cm) et tout autre vêtement de protection approprié

pour éviter les gelures que peut provoquer le contact avec l'anhydride sulfureux liquide ou avec les récipients contenant l'anhydride sulfureux liquide (NIOSH/OSHA, 1978);

- Le port de lunettes anti-éclaboussures est recommandé (NIOSH/OSHA, 1978);
- Il est recommandé de porter des gants, bottes et vêtements de protection en caoutchouc (GE, 1979);
- Enlever aussitôt un vêtement mouillé par de l'anhydride sulfureux liquide et ne pas le remettre avant que l'anhydride sulfureux soit évaporé (NIOSH/OSHA, 1978);
- On doit trouver sur les lieux de l'intervention des douches oculaires automatiques et des douches-averses d'urgence qui soient faciles d'accès (NIOSH/OSHA, 1978);
- Les appareils requis pour une protection minimale des voies respiratoires des personnes travaillant dans un endroit où l'on trouve de l'anhydride sulfureux sont indiqués ci-dessous (NIOSH/OSHA, 1978).

Protection minimale des voies respiratoires pour une teneur en SO_2 supérieure à 5 ppm

Situation	Équipement*
20 ppm ou moins	Tout respirateur (filtrant) à cartouche chimique contre l'anhydride sulfureux**. Tout respirateur (isolant) à adduction d'air**. Tout respirateur (isolant) autonome**.
10 ppm ou moins	Tout respirateur (filtrant) à cartouche chimique contre l'anhydride sulfureux, muni d'un masque couvre-visage. Tout masque à gaz muni d'une cartouche au masque ou d'un boîtier (filtrant) fixé sur la poitrine ou dans le dos contre l'anhydride sulfureux. Tout respirateur (isolant) à adduction d'air muni d'un masque couvre-visage, d'un casque ou d'une cagoule. Tout respirateur (isolant) autonome comprenant un masque couvre-visage.
Plus de 100 ppm ou pénétration et évacuation d'urgence dans un cas de teneur inconnue	Tout respirateur (isolant) autonome comprenant un masque couvre-visage pulmocommandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique. Respirateur (isolant) combiné comprenant un respirateur à adduction d'air de type C muni d'un masque couvre-visage pulmocommandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique ou à débit constant et un respirateur auxiliaire autonome pulmocommandé à surpression ou alimenté par tout système de pression superatmosphérique.
Lutte contre un incendie	Tout respirateur (isolant) autonome comprenant un masque couvre-visage pulmocommandé à surpression ou alimenté par tout autre système de pression atmosphérique.
Évacuation d'urgence	Tout masque à gaz protégeant contre l'anhydride sulfureux. Tout respirateur (isolant) autonome type évacuation.

* N'utiliser que l'équipement homologué par le NIOSH ou la MSHA.
** S'il y a irritation des yeux, utiliser un masque couvre-visage.

9.1.7 Entreposage. - Entreposer les bouteilles dans un local frais et ventilé (de préférence résistant au feu), à une température inférieure à 52 °C, et les placer à l'abri des dégradations. Utiliser un clapet de retenue, un purgeur, etc., pour éviter un effet de succion (*suck back*) qui risquerait de provoquer une réaction violente à l'intérieur de la bouteille (GE, 1979). Ne jamais fermer tous les robinets sur une conduite remplie de SO_2 liquide à moins qu'elle ne soit protégée par un détendeur (Cities, 1979). Garder l'anhydride sulfureux à distance des chlorates (GE, 1979).

10 CAS DE DÉVERSEMENTS ACCIDENTELS

10.1 Information générale

Parmi les nombreux cas de déversements accidentels ou de fuites d'anhydride sulfureux relatés dans les publications connues, les cas décrits ci-dessous ont été choisis principalement parce qu'ils fournissent des éléments d'information importants, susceptibles de servir lorsque surviendront des accidents similaires.

10.2 Fuite d'un réservoir de stockage

(CP EQ, 1982; World Information Services, 1981; Eco-Log Week, 1981)

La perforation d'une conduite de vidange d'un réservoir de stockage de 129 000 litres contenant de l'anhydride sulfureux liquide a provoqué une fuite du produit, qui s'est évaporé au contact de l'air. La perforation était probablement due à la corrosion d'un raccord vieux de 15 ans. Les 150 employés de l'usine et 250 familles évacuèrent le secteur à la demande des sapeurs-pompiers, environ une heure après la découverte de la fuite. Six heures plus tard, on commença à transvaser le contenu du réservoir dans un wagon-citerne.

Au cours de l'opération, il y eut augmentation de la pression dans le wagon-citerne, par suite de l'évaporation d'une partie de l'anhydride sulfureux. Un camion citerne sous-vide, équipé d'un réservoir de solution absorbante contenant de l'hydroxyde de sodium aqueux fut utilisé pour aspirer l'excédent de gaz sulfureux (qui était à l'origine de l'augmentation de pression) et le neutraliser en le faisant passer dans la solution absorbante. Il fallut près d'une journée pour effectuer le transvasement. On estima que 1000 litres d'anhydride sulfureux s'étaient échappés du réservoir. Les familles et les travailleurs furent autorisés à revenir lorsque les mesures de qualité de l'air indiquèrent que la teneur en anhydride sulfureux était descendue sous le seuil de détection.

Cet accident illustre le point suivant: lorsqu'un liquide sous pression est transvasé d'un récipient dans un autre où les conditions ne sont plus les mêmes, il peut y avoir formation de gaz et augmentation de pression. Dans le cas présent, on a utilisé un camion citerne sous-vide pour réduire la pression excessive créée pendant le transvasement. Le fait de faire passer le gaz dans une solution absorbante d'hydroxyde de sodium dans l'eau a permis d'abaisser la pollution atmosphérique et d'éliminer du gaz sans danger. Toutefois, dans un cas semblable, on doit veiller à ce que le liquide ne soit pas réaspiré dans le wagon-citerne, ce qui risquerait de faire monter la pression.

10.3 Anhydride sulfureux provenant de la combustion de soufre (Hocking, 1975)

Le 8 août 1974, un chargement de soufre provenant d'une opération de nettoyage était déversé dans une décharge près d'Edson, en Alberta. Le lendemain, le soufre prenait feu,

brûlant pendant près de 5 heures et continuant à fumer pendant 24 heures. L'incendie fut éteint en partie par enfouissement et en partie par de fortes pluies. On demanda à des spécialistes des forêts d'examiner les dégâts subis par la végétation; ils le firent les 13 et 21 août, puis le 13 septembre.

Toute la végétation à 20 m dans la direction sous le vent fut totalement et uniformément brunie. Des symptômes visibles de l'intoxication furent observés jusqu'à 800 m dans la direction sous le vent. Au total, 4 hectares de végétation furent touchés par l'anhydride sulfureux dégagé par l'incendie. Un nouvel examen de la région effectué au printemps de 1975 montra que la plupart des espèces avaient retrouvé un état normal mais que certaines avaient été détruites (p. ex. l'épinette blanche, jusqu'à 60 m dans la direction sous le vent). Au printemps, la zone des dégâts fut évaluée à 0,4 hectares, soit 1/10 de ce qu'elle avait été à l'automne. Le reste de la végétation avait retrouvé son état normal ou avait été remplacé par de nouvelles pousses.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute for Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant des matières déversées et du milieu touché et lorsqu'elles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin; et lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés. Il est à noter qu'on trouve dans les publications des tests normalisés pour l'analyse du SO_2 (EPS, 1974; EPS, 1975).

11.1 Dosage du soufre présent dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Titrage (NIOSH, 1978). - On peut mesurer l'anhydride sulfureux présent dans l'air à des teneurs de 6,6 à 26,8 mg/m^3 (2,52 à 10,23 ppm) en le faisant barboter puis en faisant un titrage au perchlorate de baryum.

On recueille un volume d'air connu en le faisant traverser un premier filtre constitué d'une membrane en ester de cellulose de 37 mm de diamètre et dont la taille des pores est de 0,8 µm, placée dans un support de filtre double et un mini-barboteur contenant 15 ml d'une solution de peroxyde d'hydrogène 0,3 *N*. On recommande de recueillir 90 l à raison de 1,0 l/mn.

L'échantillon est transféré dans un bécher de 250 ml. On rince le barboteur avec 2 ml de solution 0,3 *N* de peroxyde d'hydrogène et on transvide la solution de rinçage dans le bécher de 250 ml. On ajoute 100 ml d'isopropanol et on porte le pH de la solution à 3,5 avec de l'acide perchlorique à 1,8 p. 100. On ajoute alors 8 à 10 gouttes d'indicateur de Thorin et on titre l'échantillon avec du perchlorate de baryum à 0,005 *M*, jusqu'au virage à une teinte rosée. Faire également un titrage à blanc.

11.2 Identification de l'anhydride sulfureux présent dans l'air (analyse qualitative)

On peut doser l'anhydride sulfureux présent dans l'air à des teneurs de 0,5 à 5 ppm à l'aide

d'un tube Dräger de détecteur de gaz. À l'aide d'une pompe à gaz Dräger, on aspire un volume d'air connu à travers un tube détecteur de gaz Dräger pour l'anhydride sulfureux. Le passage de la couche indicatrice bleue à une teinte blanche indique la présence d'anhydride sulfureux. Ce changement de couleur est dû à la réaction entre l'anhydride sulfureux et l'iode en présence d'amidon (Leichnitz, 1979).

11.3 Dosage de l'anhydride sulfureux présent dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Titrage électrométrique (ASTM, 1979). - On peut déterminer des teneurs en anhydride sulfureux supérieures à 6 mg/l (ppm) sous forme d'ions sulfites dans l'eau, par titrage à l'aide d'un indicateur électrométrique.

Un échantillon représentatif de 2 litres au minimum est d'abord recueilli dans un récipient approprié. On ajoute 5 ml d'acide chlorhydrique à 50 p. 100, 5 ml d'iodure de potassium (50 mg/l) et 5 ml d'iodate de potassium 0,5 *N*, puis on mélange lentement. On ajoute alors plusieurs gouttes d'indicateur à l'amidon ainsi que les électrodes d'un titreur électrométrique à arrêt brusque. L'indicateur à l'amidon est une pâte que l'on prépare en mélangeant 6 g de fécule de marante avec de l'eau froide. On verse ensuite cette pâte dans 1 litre d'eau bouillante, on ajoute 20 g d'hydroxyde de potassium, on mélange et on laisse reposer pendant deux heures. On ajoute alors 6 mm d'acide acétique glacé et on règle le pH à 4,0 avec de l'acide chlorhydrique concentré. On conserve le mélange dans une bouteille bouchée en verre.

L'analyse se poursuit ainsi: l'excédent de chlorure d'iode contenu dans l'échantillon est titré avec une solution de thiosulfite de sodium 0,01 *N* jusqu'au virage électrométrique. Faire un titrage à blanc.

11.4 Identification de l'anhydride sulfureux présent dans l'eau (analyse qualitative)

On peut déterminer la présence dans l'eau de l'anhydride sulfureux sous forme d'ions sulfites. On recueille l'échantillon en utilisant la méthode décrite en 11.3.1. Un échantillon de 2 ml est placé dans un tube à essai; on y ajoute de l'hydroxyde d'ammonium 6 *M*, puis 2 ml en excès. On ajoute ensuite 2 ml d'une solution de nitrate de zinc tétra-ammoniacate 0,5 *M*. S'il y a formation d'un précipité, on le jette. On ajoute ensuite au liquide surnageant 3 ml de nitrate de strontium 4,4 *M*. On agite vivement le mélange puis on le laisse reposer pendant 10 minutes. On jette le liquide surnageant, puis on traite le précipité avec 2 ml d'une solution de nitrate de strontium 4,4 *M* et on jette le produit de rinçage. On ajoute ensuite au précipité 1 ml de solution de chlorure de baryum 1 *M* et 1 ml d'acide chlorhydrique 6 *M*. On passe le mélange à la centrifugeuse et on jette les résidus. On laisse décanter le liquide surnageant dans un tube à essai propre. On continue à ajouter au goutte à goutte de l'iodure d'iode-potassium 0,1 *M* jusqu'à ce que la solution devienne jaune très pâle. La formation d'un précipité nettement séparé indique la présence de sulfites (Welcher, 1955).

11.5 Dosage de l'anhydride sulfureux présent dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Chromatographie par échange d'ions (Wetzel, 1978). - On peut déterminer des teneurs en anhydride sulfureux supérieures à 3 ppm, sous forme d'ions sulfates, en faisant une chromatographie par échange d'ions. Un échantillon de sol de 5 g est recueilli et extrait avec une solution de chlorure de lithium 0,001 *M*, puis centrifugé et filtré. On injecte l'échantillon dans un chromatographe à échange d'ions et on mesure le temps de rétention et les hauteurs de pics. C'est une méthode simple, mais qui demande un équipement spécialisé.

11.6 Identification de l'anhydride sulfureux présent dans le sol (analyse qualitative)

On peut déterminer la présence d'anhydride sulfureux dans le sol en provoquant la précipitation des ions sulfates. L'échantillon est recueilli comme en 11.5.1, puis traité. On acidifie 1 ml de l'échantillon avec de l'acide chlorhydrique 6 *M*, puis avec 1 ml d'une solution de chlorure de baryum 1 *M*. La formation d'un précipité blanc nettement séparé indique la présence d'ions sulfates (Welcher, 1955).

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE
(Reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

AAR 1981: BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

Amdur 1978: Amdur, M.O., Physiological Response to Atmospheric Pollutants, Harvard University, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/1-78-021 (1978).

Amoore 1983: Amoore, J.E. and E. Hatula, "Odour as an Aid to Chemical Safety: Odour Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatiles for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Pollution", J. Appl. Toxicol., 3 (6), pp. 272-290 (1983).

Amundson 1981: Amundson, R.G. and L.H. Weinstein, "Joint Action of Sulphur Dioxide on Foliar Injury and Stomatal Behaviour in Soybean", J. Environ. Qual., 10 (2), pp. 204-206 (1981).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, D1339B, D1192, D3370, Philadelphia, PA (1979).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM Data Series DS-48A, Philadelphia, PA (1980).

Bailar 1973: Bailar, J.C. et al. (eds.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom (1973).

Braker 1977: Braker, W., A.L. Mossman and D. Siegel, Effects of Exposure to Toxic Gases -First Aid and Medical Treatment, second edition, Matheson Gas Products, Lyndhurst, NJ (1977).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

B.C. 1980: Workers' Compensation Board of British Columbia, Industrial Health and Safety Regulations, Workers' Compensation Act, Vancouver, British Columbia (July, 1980).

Case 1980: Case, J.W., "The Influence of Three Sour Gas Processing Plants on the Ecological Distribution of Epyphytic Lichens in the Vicinity of Fox Creek and Whitecourt, Alberta, Canada", Water, Air, Soil Pollut., 4, pp. 45-86 (1980).

CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Don Mills, Ontario 64 (9), (December, 1980).

CCPA 1981: The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (October, 1981).

CCPA 1984: Canadian Chemical Producers' Association, Ottawa, Ontario, private communication (1984).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

CELC 1980: Good, D.R. and R.L. Doering, "Clean Air Act S.C. 1970-1971, C. 47", Compendium of Environmental Law in Canada, 1980, D.R. Good Publishing Services, Ottawa, Ontario, Vol. 1, pp. 41-43 (1980).

CELC-NB 1980: Good, D.R. and R.L. Doering, "Clean Environmental Act R. 5, N.B. 1973 C.C-6", Compendium of Environmental Law in Canada, 1980, D.R. Good Publishing Services, Ottawa, Ontario, pp. 464-465, 481-482 (1980).

CELC-Sask. 1980: Good, D.R. and R.L. Doering, "Clean Environmental Act R. 5, Sask. 1978 C.A-17", Compendium of Environmental Law in Canada, 1980, D.R. Good Publishing Services, Ottawa, Ontario, p. 808 (1980).

CG-D-38-76: Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

Chaudhry 1982: Chaudhry, M., M. Nyborg, M. Molina-ayala and R.W. Parker, "The Reactions of SO_2 Emissions with Soils", IN Proceedings of the Symposium on Acid Forming Emissions in Alberta and their Ecological Effects, Edmonton, Alberta (1982).

Chem. Eng. 1974: Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties", Chemical Engineering, 81 (14), pp. 85-92 (July 8, 1974).

Cheng 1971: Cheng, R.T., M. Corn and J.O. Frohliger, "Contribution to the Reaction Kinetics of Water Soluble Aerosols and SO_2 in Air at ppm Concentrations", Atmos. Environ., 5, pp. 987-1008 (1971).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Cities 1979: Cities Service Company, Material Safety Data Sheet, "Sulphur Dioxide", Atlanta, GA (1979).

Coffin 1976: Coffin, D.L. and J.H. Knelson, "Acid Precipitation: Effects of Sulphur Dioxide and Sulfate Aerosol Particles on Human Health", Ambio, 5 (5-6), pp. 249-252 (1976).

Corpus 1984: Corpus Information Services Ltd., "Sulphur Dioxide", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (July 15, 1984).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

CSC 1980: Canada Safety Council, Data Sheet/Occupational Safety and Health B-4, "Sulphur Dioxide", Ottawa, Ontario (1980).

Davis 1976: Davis, D.D. and R.G. Wilhour, Susceptibility of Woody Plants to Sulphur Dioxide and Photochemical Oxidants, Corvallis Environmental Research Laboratory, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/3-76-102 (1976).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

DeKoning 1979: DeKoning, H.W. and Z. Jegier, "Effect of Sulphur Dioxide and Ozone on *Euglena gracilis*", Atmos. Environ., 4 (4), pp. 357-361 (1970).

Dionex 1978: Wetzel, R. and J. Menear, Applications Note No. 8, Dionex Corp., Sunnydale, CA (May, 1978).

DOC. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981)

Doull 1980: Doull, J., C.D. Klaassen and M.O. Amdur, Casarett's and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, second edition, Collier MacMillan Canada Inc., Toronto, Ontario (1980).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 141 (1979).

Dreisinger 1970: Dreisinger, B.R. and P.C. McGovern, "Monitoring Atmospheric Sulphur Dioxide and Correlating Its Effect on Crops and Forest in the Sudbury Area", Proceedings Conference on the Impact of Air Pollution on Vegetation, Toronto, Ontario, p. 23 (1970).

US DOT 1978: U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1978).

ELW 1981: "News Summary", Eco-Log Week, Don Mills, Ontario, p. 6 (May 15, 1981).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

*EPS 1974: Environmental Protection Service, Standard Reference Method for the Measurement of Sulphur Dioxide in the Atmospheric (West Gaeke Method), Ottawa, Ontario (1974).

*EPS 1975: Environmental Protection Service, Standard Reference Methods for Source Testing: Measurement of Emission of Sulphur Dioxide from Stationary Sources, Ottawa, Ontario (1975).

US DOT 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

FKC 1975: Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

Felske 1980: Felske, B.E. and Associates, Sulphur Dioxide Regulations and the Canadian Non-ferrous Metals Industry, for the Economic Council of Canada Toronto, Ontario, (1980).

Garner: Garner's Veterinary Toxicology, third edition, p. 122.

GE 1979: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Sulphur Dioxide (Anhydrous)", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (December, 1979).

* Publié également en français.

Gerhold 1977: Gerhold, M.D., The Effect of Air Pollution on *Pinus Strobus L.* and Genetic Resistance - A Literature Review, Pennsylvania State University, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/3-77-002 (1977).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Goldstein 1979: Goldstein, E. et al., "Effect of Near Ambient Exposures to Sulphur Dioxide and Ferrous Sulphate Particles on Murine Pulmonary Defensive Mechanisms", Arch. Environ. Health, 34 (6), pp. 424-431 (November/December, 1979).

GPP: Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

Hammer 1977: Hammer, D.I., Respiratory Disease in Children Exposed to Sulphur Oxides and Particulates, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, PB 274339 (1977).

HCG 1981: Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, second edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1981).

Heggestad 1980: Heggestad, H.E., "Field Assessment of Air Pollution Impacts on Growth and Productivity of Crop Species", In Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Montreal, Quebec (1980).

HMIR 1981: World Information Services, "Sulphur Dioxide Leak Forces Evacuation in Quebec", Hazardous Material Intelligence Report, p. 5 (May 8, 1981).

AAR 1978: Association of American Railroads, Hazardous Materials Regulations of the Department of Transportation, Washington, DC (1978).

Hocking 1975: Hocking, D., Effects on the Forest from a Sulphur Fire Near Edson, Alberta, Northern Forest Research Centre, Edmonton, Alberta (1975).

Hocking 1977: Hocking, D. and M.B. Hocking, "Equilibrium Solubility of Trace Atmospheric Sulphur Dioxide in Water and Its Bearing on Air Pollution Injury to Plants", Environ. Pollut., 13, pp. 57-64 (1977).

Horseman 1977: Horseman, D.C. and A.R. Wellburn, "Effect of SO_2 Polluted Air Upon Enzyme Activity in Plants Originating From Areas with Different Annual Mean Atmospheric SO_2 Concentrations", Environ. Pollut., 13, pp. 33-38 (1977).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, second edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

Jones 1977: Jones, H.C. et al., Experimental Air Inclusion System for Field Studies of SO_2 Effects on Crop Productivity, Tennessee Valley Authority, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/7-77-122 (1977).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Kirk-Othmer 1983: Grayson, M. and D. Eckroth (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 21, John Wiley and Sons Inc., New York, NY (1983).

Kockmond 1976: Kockmond, W.C. and J.Y. Yang, Sulphur Dioxide Photooxidation Rates and Aerosol Formation Mechanisms, Calspan Corp., for U.S. Environmental Protection Service, Washington, DC, EPA 600/3-76-090 (1976).

Laurentian 1975: Richardson, D.H.S. et al., Potential Sulphur Dioxide Damage to Lichens of the Mackenzie Valley, N.W.T., Laurentian University, Sudbury, Ontario, for Atmospheric Environment Service (1975).

* Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J. and E.O. Becker, First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, PA (1980).

Leleu 1975: Leleu, M.J., "Les réactions chimiques dangereuses - potassium", Cahiers de Notes Documentaires, Note No. 974-80-75, Paris, France (1975).

Linzon 1978: Linzon, S.N., "Effects of Airborne Sulphur Pollutants on Plants", In Sulphur in the Environment, John Wiley and Sons, New York, NY (1978).

Loman 1972: Loman, A.A., R.A. Blauel and D. Hocking, Sulphur Dioxide and Forest Vegetation, Northern Forest Research Centre, Edmonton, Alberta (1972).

Malhotra 1980: Malhotra, S.S. and R.A. Blauel, Diagnosis of Air Pollutant and Natural Stress Symptoms on Forest Vegetation in Western Canada (1980).

Matheson 1980: Matheson Gas Products, The Matheson Unabridged Gas Data Book, Lyndhurst, NJ (1980).

MCA 1953: Manufacturing Chemists Association, "Sulphur Dioxide", Washington, DC (1953).

MWPP 1978: Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA (1978).

NIOSH 1974: National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Sulphur Dioxide, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH (1974).

NIOSH 1978: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 4, S. 308, Cincinnati, OH (1978).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

* Publié également en français.

NIOSH/OSHA 1978: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards (September, 1978).

Noggle 1980: Noggle, J.C., "Sulphur Accumulation by Plants: the Role of Gaseous Sulphur in Crop Nutrition", In Atmospheric Sulphur Deposition, Environmental Impact and Health Effects, Ann Arbour Science Publishers Inc., Ann Arbour, MI (1980).

* NRCC 1977: National Research Council Canada, Sulphur and its Inorganic Derivatives in the Canadian Environment, NRCC No. 15015, Ottawa, Ontario (1977).

Nriagu 1978: Nriagu, J.D. (ed.), Sulphur in the Environment, John Wiley and Sons, New York, NY (1978).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Patty: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, second edition, Vol. 2, pp. 893-895.

PC EQ 1982: personal communication, Environment Quebec, Montreal, Quebec (June 11, 1982).

Perry 1973: Perry, R.H. and C.H. Chilton (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Peterson 1977: Peterson, W.L. and G.W. Douglas, "Air Quality Monitoring with a Lichen Network: Baseline Data", Environ. Res. Monograph 1977-5, Syncrude Canada Ltd. (1977).

Quebec 1979: Cabinet du Lieutenant-Gouverneur, Gazette officielle du Québec: partie 2, lois et règlements, L'Editeur Officiel du Québec (November, 1979).

Rana 1979: Rana, S.V.S., R.K. Gautman and V.P. Agrawal, "Certain Biochemical Changes in the Trachea, Lungs and Heart of Squirrel Exposed to Three Principal Air Pollutants", Arch. Environ. Contam. Toxicol., 8, pp. 231-239 (1979).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., K. Draxl, B. Steiner and J.T. Herron, Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC (1977).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transport of Dangerous Commodities by Rail, prepared by Supply and Services Canada (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

---

* Publié également en français.

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, pp. 1001-1002 (1979).

Sax 1981: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1, No. 3, pp. 78-79 (January/February, 1981).

Seidell 1965: Seidell, A. and W.F. Linke, Solubilities - Inorganic and Metal Organic Compounds, fourth edition, American Chemical Society, Washington, DC (1965).

Shaw 1980: Shaw, G.G., The Effect of SO_2 on Selenium Concentration in Serviceberry, Canadian Wildlife Service, Edmonton, Alberta (1980).

Shaw 1982: Shaw, G.G. and L. Cooks, "The Effect of SO_2 on Food Quality for Wild Herbivores", In Proceedings of the Symposium on Acid Forming Emissions in Alberta and their Ecological Effects, Edmonton, Alberta (1982).

Shreffler 1978: Shreffler, J.H., "Factors Affecting Dry Deposition of SO_2 on Forests and Grasslands", Atmos. Environ., 12, pp. 1497-1503 (1978).

Shriner 1980: Shriner, D.S., C.R. Richard and S.E. Lindberg, (eds.), Atmospheric Sulphur Deposition, Environmental Impact and Health Effects, Ann Arbour Science Publishers Inc., Ann Arbour, MI (1980).

Sunshine 1969: Sunshine, Handbook of Analytical Toxicology, p. 709 (1969).

GATC 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV®s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-1984, Cincinnati, OH (1983).

GSR 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

Ullmann 1975: Ullmanns Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Verschueren 1984: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Welcher 1955: Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co. Inc., Princeton, NJ, pp. 456-457 (1955).

Wilber 1969: Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, IL (1969).

---

* Publié également en français.

WQC 1963: McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

12.2 Bibliographie

Amdur, M.O., Physiological Response to Atmospheric Pollutants, Harvard University, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/1-78-021 (1978).

American Conference of Governmental Industrial Hygiensts (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygiensts, TLV•rs Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, ASTM, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A (1980).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D1339B, D1192, D3370 (1979).

Amoore, J.E. and E. Hautala, "Odour As An Aid to Chemical Safety: Odour Thresholds Compared with Threshold Limit Values and Volatiles for 214 Industrial Chemicals in Air and Water Pollution", J. Appl. Toxicol., 3 (6), pp. 272-290 (1983).

Amundson, R.G. and L.H. Weinstein, "Joint Action of Sulphur Dioxide on Foliar Injury and Stomatal Behaviour in Soybean", J. Environ. Qual., 10 (2), pp. 204-206 (1981).

Association of American Railroads, Hazardous Materials Regulations of the Department of Transportation, Washington, DC (1978).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

Bailer, J.C. et al. (eds.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Pergamon Press, Oxford, United Kingdom (1973).

Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

BDM Corporation, The AAR Hazardous Materials Data Base, prepared for the Association of American Railroads, Parts I and II, McLean, VA (May, 1981).

Braker, W., A.L. Mossman and D. Siegel, Effects of Exposure to Toxic Gases - First Air and Medical Treatment, second edition, Matheson, Lyndhurst, NJ (1977).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

Cabinet du Lieutenant-Gouverneur, Gazette officielle du Québec: Partie 2, Lois et règlements, L'Editeur Officiel du Québec (Novembre, 1979).

* Canada Safety Council, Data Sheet/Occupational Safety and Health B-4, "Sulphur Dioxide", Ottawa, Ontario (1980).

The Canadian Chemical Producers' Association, List of Members, Toronto, Ontario (October, 1981).

Canadian Chemical Producers' Association, Ottawa, Ontario, private communication (1984).

* Canadian Transport Commission, Regulations for the Transport of Dangerous Commodities by Rail, prepared by Supply and Services Canada (1974)

Case, J.W., "The Influence of Three Sour Gas Processing Plants on the Ecological Distribution of Epophytic Lichens in the Vicinity of Fox Creek and Whitecourt, Alberta, Canada", Water Air and Soil Pollution, 4, pp. 45-86 (1980).

Chaudhry, M., M. Nyborg, M. Molina-ayala and R.W. Parker, "The Reactions of SO_2 Emissions with Soils", In Proceedings of the Symposium on Acid Forming Emissions in Alberta and Their Ecological Effects, Edmonton, Alberta (1982).

Cheng, R.T., M. Corn and J.O. Frohliger, "Contribution to the Reaction Kinetics of Water Soluble Aerosols and SO_2 in Air at ppm concentrations", Atmos. Environ., 5, pp. 987-1008 (1971).

Cities Service Company, Material Safety Data Sheet, "Sulphur Dioxide", Atlanta, GA (1979).

Coffin, D.L. and J.H. Knelson, "Acid Precipitation: Effects of Sulphur Dioxide and Sulphate Aerosol Particles on Human Health", Ambio, 5 (5-6), pp. 249-252 (1976).

Compressed Gas Association, Inc., Handbook of Compressed Gases, second edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1981).

Corpus Information Services Ltd., "Sulphur Dioxide", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (July, 1984).

Davis, D.D. and R.G. Wilhour, Susceptibility of Woody Plants to Sulphur Dioxide and Photochemical Oxidants, Corvallis Environmental Research Laboratory, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/3-76-102 (1976).

DeKoning, H.W. and Z. Jegier, "Effect of Sulphur Dioxide and Ozone on *Euglena gracilis*". Atoms. Environ., 4 (4), pp. 357-361 (1970).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Doull, J., C.D. Klaassen and M.O. Amdur, Casarett's and Doull's Toxicology - The Basic Science of Poisons, second edition, Collier MacMillan Canada Inc., Toronto, Ontario (1980).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

---

* Publié également en français.

Dreisinger, B.R. and P.C. McGovern, "Monitoring Atmospheric Sulphur Dioxide and Correlating Its Effect on Crops and Forest in the Sudbury Area", Proceedings Conference on the Impact of Air Pollution on Vegetation, Toronto, Ontario, p. 23 (1970).

* Environmental Protection Service, Standard Reference Method for the Measurement of Sulphur Dioxide In the Atmosphere (West Gaeke Method), Ottawa, Ontario (1974).

* Environmental Protection Service, Standard Reference Methods for Source Testing: Measurement of Emissions of Sulphur Dioxide from Stationary Sources, Ottawa, Ontario (1975).

Felske, Brian E. and Associates, Sulphur Dioxide Regulations and the Canadian Non-ferrous Metals Industry, Toronto, Ontario, for the Economic Council of Canada (1980).

Garner's Veterinary Toxicology, third edition, p. 122.

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, "Sulphur Dioxide (Anhydrous)", Material Safety Information Services, Schenectady, NY (December, 1979).

Gerhold, M.D., The Effect of Air Pollution on Pinus Strobus L. and Genetic Resistance - A Literature Review, Pennsylvannia State University, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/3-77-002 (1977)

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Goldstein, E. et al., "Effect of Near Ambient Exposures to Sulphur Dioxide and Ferrous Sulphate Particles on Murine Pulmonary Defensive Mechanisms", Arch. Environ. Health, 34 (6), pp. 424-432 (November/December, 1979).

Good, D.R. and R.L. Doering, "Clean Air Act S.C. 1970-1971, C. 47", Compendium of Environmental Law in Canada, 1980, D.R. Good Publishing Services, Ottawa, Ontario Vol. 1, pp. 41-43 (1980).

Good, D.R. and R.L. Doering, "Clean Environmental Act R. 5, N.B. 1973 C.C-6", Compendium of Environmental Law in Canada, 1980, D.R. Good Publishing Services, Ottawa, Ontario, pp. 464-465, 481-482 (1980).

Good, D.R. and R.L. Doering, "Clean Environmental Act R. 5, Sask. 1978 C.A-17", Compendium of Environmental Law in Canada, 1980, D.R. Good Publishing Services, Ottawa, Ontario, p. 808 (1980).

Grayson, M. and D. Eckroth (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 21, John Wiley and Sons Inc., New York, NY (1983).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

Hammer, D.I., Respiratory Disease in Children Exposed to Sulphur Oxides and Particulates, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, PB 274339 (1977).

---

* Publié également en français.

Heggestad, H.E., "Field Assessment of Air Pollution Impacts on Growth and Productivity of Crop Species", In Proceedings of the 73rd Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Montreal, Quebec (1980).

Hocking, D., Effects on the Forest From a Sulphur Fire Near Edson, Alberta, Northern Forest Research Centre, Edmonton, Alberta (1975).

Hocking, D. and M.B. Hocking, "Equilibrium Solubility of Trace Atmospheric Sulphur Dioxide in Water and Its Bearing on Air Pollution Injury to Plants", Environ. Pollut., 13, pp. 57-64 (1977).

Horseman, D.C. and A.R. Wellburn, "Effect of SO_2 Polluted Air Upon Enzyme Activity in Plants Originating from Areas with Different Annual Mean Atmospheric SO_2 Concentrations", Environ. Pollut., 13, pp. 33-38 (1977).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan (1981).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Jones, H.C. et al., Experimental Air Inclusion System for Field Studies of SO_2 Effects on Crop Productivity, Tennessee Valley Authority, for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA 600/7-77-122 (1977).

Kockmond, W.C. and J.Y. Yang, Sulphur Dioxide Photooxidation Rates and Aerosol Formation Mechanisms, Calspan Corp., for U.S. Environmental Protection Service, Washington, DC, EPA 600/3-76-090 (1976).

* Lefèvre, M.J. and E.O. Becker, First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross Inc., Stroudsburg, PA (1980).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 141 (1979).

Leleu, M.J., "Les réactions chimiques dangereuses - potassium", Cahiers de Notes Documentaires, Note No. 974-80-75, Paris, France (1975).

Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Linzon, S.N., "Effects of Airborne Sulphur Pollutants on Plants", In Sulphur in the Environment, John Wiley & Sons, New York, NY (1978).

Loman, A.A., R.A. Blauel and D. Hocking, Sulphur Dioxide and Forest Vegetation, Northern Forest Research Centre, Edmonton, Alberta (1972).

Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

---

* Publié également en français.

Malhotra, S.S. and R.A. Blauel, Diagnosis of Air Pollutant and Natural Stress Symptoms on Forest Vegetation in Western Canada (1980).

Manufacturing Chemists Association, "Sulphur Dioxide", Washington, DC (1953).

Matheson Gas Products, The Matheson Unabridged Gas Data Book, Lyndhurst, NJ (1980).

McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, Sate Water Quality Control Board (1963).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA (1978).

National Institute of Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Sulphur Dioxide, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH (1974).

National Institute of Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, Second Edition, Vol. 4, S. 308, Cincinnati, OH (1978).

* National Research Council Canada, Sulphur and its Inorganic Derivatives in the Canadian Environment, NRCC No. 15015, Ottawa, Ontario (1977).

"News Summary", Eco-Log Week, Don Mills, Ontario, p. 6 (15 May 1981).

Noggle, J.C., "Sulphur Accumulation by Plants: The Role of Gaseous Sulphur in Crop Nutrition", In Atmospheric Sulphur Desposition, Environmental Impact and Health Effects, Ann Arbour Science Publishers Inc., Ann Arbour, MI (1980).

Nriagu, J.D. (ed.), Sulphur in the Environment, John Wiley & Sons, New York, NY (1978).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, second edition, Vol. 2, pp. 893-895.

Perry, R.H. and C.H. Chilton (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Personal Communication, Environment Quebec, Montreal, Quebec (11 June, 1982).

Peterson, W.L. and G.W. Douglas, "Air Quality Monitoring With A Lichen Network: Baseline Data", Environmental Research Monograph 1977-5, Syncrude Canada Ltd. (1977).

---

* Publié également en français.

Pilie, R.J. et al., Method to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA-670/2-75-042 (June, 1975).

Rana, S.V.S., R.K. Gautmam and V.P. Agrawal, "Certain Biochemical Changes in the Trachea, Lungs and Heart of Squirrels Exposed to Three Principal Air Pollutants", Arch. Environ. Contam. Toxicol., 8, pp. 231-239 (1979).

Rehau, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

Richardson, D.H.S. et al., Potential Sulphur Dioxide Damage to Lichens of the Mackenzie Valley, N.W.T., Laurentian University, Sudbury, Ontario, for Atmospheric Environment Service (1975).

Rosenstock, H.M., K. Draxl, B. Steiner and J.T. Herron, Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC (1977).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, 1 (3), pp. 78-79 (January/February, 1981).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY, pp. 1001-1002 (1979).

Seidell, A. and W.F. Linke, Solubilities-Inorganic and Metal Organic Compounds, fourth edition, American Chemical Society, Washington, DC (1965).

Shaw, G.G., The Effect of SO_2 on Selenium Concentration in Serviceberry, Canadian Wildlife Service, Edmonton, Alberta (1980).

Shaw, G.G. and L. Cooks, "The Effect of SO_2 on Food Quality for Wild Herbivores", In Proceedings of the Symposium on Acid Forming Emissions in Alberta and Their Ecological Effects, Edmonton, Alberta (1982).

Shreffler, J.H., "Factors Affecting Dry Deposition of SO_2 on Forests and Grasslands", Atmos. Environ., 12, pp. 1497-1503 (1978).

Shriner, D.S., C.R. Richard and S.E. Lindberg (eds.), Atmospheric Sulphur Deposition, Environmental Impact and Health Effects, Ann Arbour Science Publishers Inc., Ann Arbour, MI (1980).

Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Don Mills, Ontario, Vol. 64, No. 9, (December, 1980).

Stull, D.R. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, second edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

Sunshine, Handbook of Analytical Toxicology, p. 709 (1969).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, Available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

Ullmans Encyklopaedie der technischen Chemie, Verlag Chemie, Weinheim (1975).

Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards (September, 1978).

U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co. Inc., Princeton, NJ, pp. 456-457 (1955).

Wetzel, R. and J. Menear, Applications Note 8, Dionex Corp., Sunnydale, CA (May, 1978).

Wilber, C.G., The Biological Aspects of Water Pollution, Charles C. Thomas, Springfield, IL (1969).

Workers' Compensation Board of British Columbia, Industrial Health and Safety Regulations, Workers' Compensation Act, Vancouver, British Columbia (July, 1980).

World Information Systems, "Sulphur Dioxide Leak Forces Evacuation in Quebec", Hazardous Material Intelligence Report, p. 5 (8 May 1981).

Yaws, C.L., "Physical and Thermodynamic Properties" Chemical Engineering, 81 (14), pp. 85-92 (8 July 1974).

---

* Publié également en français.